www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

2e JAARGANG NUMMER 10 OCTOBER 1937

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

TEGENKOPPELING

door B. D. H. TELLEGEN.

Samenvatting. In dit artikel wordt onderzocht, hoe de eigenschappen van een versterker door tegenkoppeling beinvloed kunnen worden. Na een bespreking van de vermindering der niet-lineaire vervormingen door tegenkoppeling wordt op de stabiliteit van een tegengekoppelde versterker ingegaan. Tevens wordt aangetoond, dat men ook de beinvloeding van de versterking door veranderingen in de voedingsspanningen of in de eigenschappen van de ontvanglamp door tegenkoppeling kan verminderen en dat de inwendige weerstand van een versterker door tegenkoppelen zoowel vergroot als verkleind kan worden.

Principe van de tegenkoppeling

Indien een deel van de uitgangsspanning van een versterker teruggevoerd wordt naar de ingangszijde daarvan, zullen vele eigenschappen van de versterker gewijzigd worden. Wordt de versterking vergroot, dan spreken wij van terugkoppeling, wordt deze daarentegen verkleind, dan spreken wij van tegenkoppeling. Deze laatste is in 1928 in dit laboratorium onderzocht door K. Posthumus [1]) en in de Bell Laboratories door H. S. Black [2]).

Enkele eigenschappen van de tegenkoppeling zijn vroeger reeds in dit tijdschrift besproken [3]). Wij willen haar thans aan een nader onderzoek onderwerpen.

Indien tegenkoppeling toegepast wordt op een versterker, zooals in *fig. 1* is aangegeven, moeten

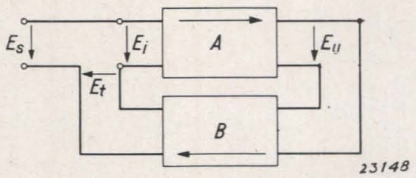


Fig. 1. Schema van de tegenkoppeling, *A* versterker, *B* tegenkoppelcircuit. Een gedeelte E_t van de uitgangsspanning E_u wordt teruggevoerd naar de ingangszijde van de versterker.

wij onderscheid maken tusschen de signaalspanning E_s en de ingangsspanning E_i van de eigenlijke versterker. Het verschil hiertusschen is de tegenkoppelspanning E_t. Wanneer de spanningen positief worden gerekend, indien zij werken in de door de pijlen aangegeven richtingen, geldt

$$E_i = E_s - E_t \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

Beinvloeding van de versterking en van de vervorming

Om nu de verandering van de versterking tengevolge van de tegenkoppeling te berekenen, denken wij een sinusvormige signaalspanning van een bepaalde frequentie aangebracht. Dan geldt, als α de versterking zonder tegenkoppeling is en β het deel van de uitgangsspanning E_u, dat tegengekoppeld wordt:

$$E_u = \alpha E_i,$$
$$E_t = \beta E_u, \text{ en dus}$$
$$E_t = \alpha \beta E_i.$$

Dit in (1) gezet, leidt tot:

$$E_i = \frac{1}{1+\alpha\beta} E_s \text{ en dus}$$

$$E_u = \frac{\alpha}{1+\alpha\beta} E_s \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$E_u = \alpha E_i$ zal in het algemeen niet alleen in grootte maar ook in phase verschillen van E_i en hetzelfde geldt van de teruggevoerde spanning $E_t = \alpha \beta E_i$. De factoren α en $\alpha \beta$ zijn dus geen zuivere getallen, maar grootheden, die een phasehoek bevatten en die in de vectorieele schrijfwijze van de wissel-

[1]) K. Posthumus, Ned. octrooien 28871 en 33318.

[2]) H. S. Black, Stabilized feed-back amplifiers, Bell System techn. Journal **13**, 1, 1934, ook verschenen in El. Eng. **53**, 114, 1934.

[3]) C. J. van Loon, Philips techn. T. **1**, 268, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

stroomtheorie door complexe getallen worden voorgesteld.

Is $\alpha\,\beta$ reëel en positief, dan wordt de versterking kleiner. Indien $\alpha\,\beta$ reëel, negatief en, wat absolute waarde betreft, kleiner dan één is, wordt de versterking vergroot en hebben wij dus te doen met terugkoppeling. Is $\alpha\,\beta = -1$, dan wordt de versterking oneindig groot, d.w.z. het systeem is niet langer stabiel. In dit geval is het nl. ook zonder signaal mogelijk, dat in het systeem een ongedempte sinusvormige trilling blijft bestaan, omdat $\alpha\,\beta = -1$ wil zeggen, dat bij een gegeven amplitude E_u de teruggevoerde spanning E_t juist de grootte en phase heeft, welke noodig is, om een ingangsspanning te doen ontstaan, welke weer E_u opwekt. Is $\alpha\,\beta$ reëel, negatief en, wat absolute waarde betreft, grooter dan één, dan zou men kunnen denken, dat het systeem steeds labiel is. Nader onderzoek van de stabiliteit, waarop wij hierna terugkomen, heeft echter aangetoond, dat dit niet altijd het geval behoeft te zijn. In het algemeen, indien het systeem stabiel is, is het de absolute waarde $|1 + \alpha\,\beta|$, welke de verandering in versterking bepaalt. Wanneer deze absolute waarde groot is t.o.v. één, nadert $1 + \alpha\,\beta$ tot $\alpha\,\beta$ en vereenvoudigt (2) zich tot

$$E_u = \frac{1}{\beta} E_s \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Wij zien hieruit, dat de grootheid α in (3) niet meer voorkomt. Nu zal α, de waarde van de versterking zonder tegenkoppeling, in het algemeen een functie van de frequentie zijn, waaraan niet steeds gemakkelijk geheel de gewenschte gedaante is te geven en bovendien hangt α af van de eigenschappen van de lampen, in het bijzonder van de steilheden, welke kunnen varieeren door verschillende oorzaken. Niet alle lampen van hetzelfde type hebben exact dezelfde steilheid en deze steilheid verandert in zekere mate gedurende het leven van de lampen en hangt ook af van de netspanning of batterijspanning, welke niet steeds constant is. Wanneer een sterke tegenkoppeling wordt toegepast, hangt de versterking alleen van β af, welke door het tegenkoppelcircuit wordt bepaald. Dit circuit zal in het algemeen geen lampen bevatten en kan gemakkelijker zoo worden geconstrueerd, dat β op de gewenschte wijze van de frequentie afhangt. In welke mate bij toepassing van tegenkoppeling de versterking minder van variaties in α afhangt dan zonder tegenkoppeling is eenvoudig aan te geven voor het geval, dat $\alpha\,\beta$ reëel is, dus als de tegenkoppeling zuiver in phase geschiedt. Om bij een bepaalde procentueele verandering in α de bijbehoorende procentueele verandering in $\frac{\alpha}{1+\alpha\,\beta}$ te bepalen, moeten wij de grootheid

$$\frac{\mathrm{d}\,\dfrac{\alpha}{1+\alpha\,\beta} : \dfrac{\alpha}{1+\alpha\,\beta}}{\mathrm{d}\,\alpha : \alpha}$$

berekenen, welke $\frac{1}{1+\alpha\,\beta}$ blijkt te zijn, dus gelijk aan de verkleining van de versterking.

Vergelijking (3) doet een ander voordeel van tegenkoppeling vermoeden. Een versterker is in het algemeen niet geheel lineair tengevolge van de krommingen van de lampkarakteristieken en dus kunnen harmonischen en combinatiefrequenties erin ontstaan. Het tegenkoppelcircuit kan uit lineaire elementen bestaan, zoodat verwacht mag worden, dat als de versterking alleen van β afhangt er geen harmonischen of combinatiefrequenties in de uitgangsspanning E_u zullen voorkomen.

Dat deze veronderstelling juist is en in welke mate de harmonischen worden onderdrukt, werd reeds in een eerder artikel in dit tijdschrift aangetoond [4]). In hetgeen volgt, zal de berekening van de beinvloeding van de tweede harmonische door tegenkoppeling in een iets algemeenere vorm herhaald worden, die niet onderhevig is aan de in noot (4) genoemde beperkingen. Wij veronderstellen, dat de signaalspanning E_s zuiver sinusvormig is. Indien in de uitgangsspanning een tweede harmonische van een bepaald bedrag P aanwezig is, zal in de tegenkoppelspanning een bedrag $\beta\,P$ aan tweede harmonischen aanwezig zijn. Daar het signaal zelf geen tweede harmonischen bevat, zal dus volgens (1) de ingangsspanning een bedrag $-\beta\,P$ aan tweede harmonischen bevatten. Dit bedrag $-\beta\,P$ geeft aan de uitgang van de versterker aanleiding tot een bedrag $-\alpha\,\beta\,P$ aan tweede harmonischen. Bovendien wordt in de versterker door de niet-lineaire elementen hierin, een bedrag Q aan tweede harmonischen opgewekt. In het geval van kleine vervorming hangt Q alleen af van de sterkte van de grondfrequentie in de ingangsspanning en wordt niet beinvloed door het bedrag $-\beta\,P$ aan tweede harmonischen erin. Dus is Q het bedrag aan tweede harmonischen in de uitgangsspanning van de versterker, indien geen tegenkoppeling wordt toegepast en een sinusvormige signaalspanning van zoodanige grootte wordt aan-

[4]) C. J. van Loon, l.c. In dit artikel wordt berekend, hoe de tweede en de derde harmonische door tegenkoppeling beinvloed worden. De afleiding is beperkt tot het geval, dat α en β reëel zijn en onafhankelijk van de frequentie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

gebracht, dat de grondcomponente van de uitgangsspanning even groot is als in het zoo juist beschouwde geval met tegenkoppeling. Daar wij uitgingen van een bedrag P aan tweede harmonischen in de uitgangsspanning komen wij tot:

$$P = -\alpha\beta P + Q, \text{ dus}$$

$$P = \frac{Q}{1+\alpha\beta} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Uit de afleiding volgt, dat α en β in (4) genomen moeten worden bij de frequentie van de tweede harmonische, niet bij de grondfrequentie. De amplitude van de tweede harmonische wordt dus bij een gegeven uitgangsspanning door de tegenkoppeling met dezelfde factor verkleind als de versterking van een signaal met de frequentie van die harmonische verkleind wordt. Wanneer de vervorming grooter wordt en hoogere harmonischen op gaan treden zijn de betrekkingen niet meer zoo eenvoudig [5]), maar het blijft juist, dat door sterke tegenkoppeling de vervorming bij een gegeven uitgangsspanning verkleind wordt.

Is in de versterker een stoorspanning werkzaam, bijv. afkomstig van de voeding van de versterker uit het net, dan is op geheel analoge wijze als boven voor de tweede harmonische is gedaan aan te toonen, dat deze in de uitgangsspanning van de versterker door de tegenkoppeling met dezelfde factor wordt verkleind als de versterking van een signaal met de frequentie van de stoorspanning verkleind wordt.

Stabiliteit

Aan de beschouwingen, welke tot vergelijking (2) geleid hebben, ligt stilzwijgend de veronderstelling ten grondslag, dat het tegengekoppelde systeem stabiel is. Om dit uit te maken moeten wij onderzoeken, op welke wijze het systeem zal uittrillen, indien het na het toevoeren van een kleine storing aan zichzelf wordt overgelaten; d.w.z. wij moeten de vrije trillingen van het systeem onderzoeken. Zijn deze alle gedempt, dan is het systeem stabiel, zijn één of meer van de vrije trillingen aangroeiend met de tijd, dan is het systeem labiel. De grens hiertusschen wordt gevormd, indien één van de vrije trillingen een ongedempte sinusvormige trilling is. Zooals reeds aangetoond, hebben wij met dit grensgeval te maken, indien $\alpha\beta = -1$. Wij kunnen nu $\alpha\beta$ door meting of berekening naar grootte en phase als functie van de frequentie bepalen en voor iedere frequentie $\alpha\beta$ als radiusvector uitzetten. De lengte r van de radius (zie *fig. 2* en *3*) beteekent dus de verhouding van de teruggevoerde spanning E_t tot de ingangsspanning E_i. De hoek φ geeft aan, hoeveel de phase van E_t vóór is ten opzichte van die van E_i. De verbindingslijn van de eindpunten van de vectoren, welke hooren bij verschillende frequenties, zal een kromme vormen, welke wij het vectordiagram van de tegenkoppeling noemen en welke meestal gesloten zal zijn, daar $\alpha\beta$ zoowel voor de frequentie 0 als voor de frequentie ∞ doorgaans nul is. Bestaat de versterker bijv. uit een enkele trap weerstandsversterking, waarin een constant deel van de uitgangsspanning wordt tegengekoppeld (*fig. 2*), dan is C_1

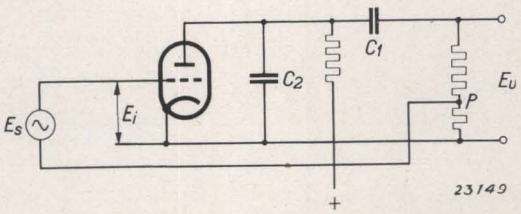


Fig. 2. Weerstandsversterker met tegenkoppeling. De aan het punt P afgenomen spanning is voor gemiddelde waarden van de frequentie in phase met E_i; voor lage frequenties draait de phase tot 90° vóór, voor hooge frequentie tot 90° achter.

doorgaans zoo groot en C_2 zoo klein, dat deze over een groot deel van het te versterken frequentiegebied geen invloed op de versterking hebben. In dit gebied is dus $\alpha\beta$ nagenoeg constant en heeft een kleine phaseverschuiving, die zeer langzaam met de frequentie verandert. Bij de laagste frequenties zal de versterking echter afnemen tengevolge van de aanwezigheid van C_1 en bij de hoogste frequenties tengevolge van C_2. Deze verandering in versterking gaat gepaard met een phaseverandering van de versterking, welke bij de frequenties nul en oneindig 90° bedraagt. Dit heeft tot gevolg, dat het vectordiagram van $\alpha\beta$ ongeveer de vorm van een cirkel krijgt (*fig. 3*).

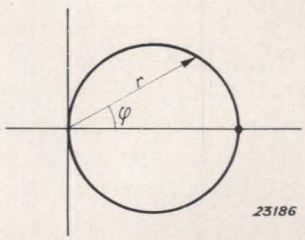


Fig. 3. Vectordiagram van één trap weerstandsversterking (fig. 2) met tegenkoppeling. De phase draait van 90° vóór bij lage frequentie tot 90° achter bij hooge frequentie.

Bestaat de versterker uit twee trappen weerstandsversterking in cascade, waarin weer een constant deel van de uitgangsspanning wordt tegengekoppeld, dan zal de phase-verandering van de versterking voor de frequenties nul en oneindig

[5]) R. Feldtkeller. Die 3te Teilschwingung in Verstärkern mit Gegenkopplung. Telegr. und Fernsprechtechn. **25**, 217, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

180° bedragen en kunnen wij dus een vectordiagram krijgen van de gedaante van *fig. 4*. Bevat de versterker of het tegenkoppelcircuit resonanties, dan kan $\alpha\beta$ in de omgeving van die resonantiefrequenties zich naar grootte en phase sterk wijzigen, waardoor vectordiagrammen van ingewikkelde gedaanten kunnen ontstaan.

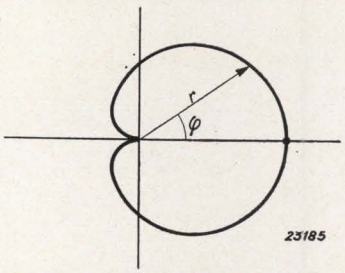


Fig. 4. Vectordiagram van twee trappen weerstandsversterking met tegenkoppeling. De phase draait twee maal zoo sterk als bij één trap, dus van 180° vóór tot 180° achter.

Om voor alle gevallen de stabiliteit te onderzoeken, willen wij nu veronderstellen, dat wij de tegenkoppeling geleidelijk van nul tot de gewenschte waarde opvoeren, d.w.z. dat wij β vervangen door $n\beta$, waarin n een positief getal is, dat niet van de frequentie afhangt en dat wij van nul af laten toenemen. Het vectordiagram zal daarbij gelijkvormig met zichzelf veranderen. Is n klein, dan is het vectordiagram eveneens klein en ligt het punt —1 van de reëele as buiten het diagram. Het systeem zal voor kleine waarden van n steeds stabiel zijn en wij vragen ons af, wat er met de stabiliteit gebeurt, indien n van nul af toeneemt. Wij vermeldden reeds, dat op de grens tusschen stabiel en labiel of omgekeerd één van de vrije trillingen een ongedempte sinusvormige trilling is geworden. Is dit het geval, dan zal $\alpha\beta = -1$ zijn. Bij de overgang van stabiel in labiel gaat het vectordiagram dus door het punt —1 van de reëele as. Bij het aangroeien van n zal het systeem dus stabiel blijven, zoolang het punt —1 van de reëele as nog buiten het vectordiagram is gelegen. Komt dit punt binnen het diagram te liggen, dan wordt het systeem labiel. Het kan nu echter gebeuren, dat bij het verder toenemen van n het vectordiagram ten tweede male het punt —1 van de reëele as passeert. Er kunnen zich dan twee gevallen voordoen: of de vrije trilling, welke met de tijd aangroeiend was, wordt weer gedempt en het systeem dus weer stabiel, òf een tweede vrije trilling wordt in plaats van gedempt aangroeiend en het systeem blijft dus labiel. Door Nyquist[6]) is aangetoond, dat deze gevallen door de vorm van de vectordiagrammen zijn te onderscheiden. Heeft het diagram bijv. de vorm van *fig. 5a*, dan is het systeem bij het aangroeien van n achtereenvolgens stabiel, labiel en daarna weer stabiel. Wij hebben in deze laatste toestand dus een systeem, waarvoor $\alpha\beta$ voor twee frequenties reëel, negatief en van een absolute waarde grooter dan 1 is, terwijl het systeem toch stabiel is. Heeft het diagram echter bijv. de vorm van fig. 5*b*, dan wordt het systeem bij het aangroeien van n van stabiel, labiel, terwijl het verder labiel blijft. Dit resultaat is door Nyquist als volgt geformuleerd: ligt het punt —1 van de reëele as buiten het vectordiagram, dan is het systeem stabiel, ligt dit punt binnen het vectordiagram dan is het systeem labiel.

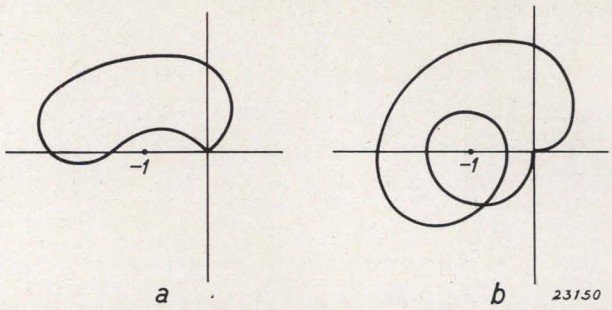


Fig. 5. *a* Vectordiagram van een stabiel systeem, dat bij vermindering van de tegenkoppeling labiel wordt. *b* Vectordiagram van een labiel systeem, dat bij vergrooting van de tegenkoppeling labiel blijft.
Een systeem is stabiel, wanneer het punt —1 buiten de gesloten lijn van het vectordiagram ligt; labiel, wanneer dit punt er binnen ligt.

Spannings- en stroomtegenkoppeling

Wij hebben tot nu toe niet over de belastingsweerstand van de versterker gesproken en deze als een deel van de versterker beschouwd. Willen wij echter onderzoeken, hoe de tegengekoppelde versterker zich gedraagt, indien de belastingsweerstand Z_u veranderlijk is, dan moeten wij deze afzonderlijk van de versterkers beschouwen. Wij kunnen dan twee gevallen onderscheiden. Of de verhouding van de tegengekoppelde spanning E_t tot de uitgangsspanning E_u, welke wij boven β genoemd hebben, is onafhankelijk van Z_u òf de verhouding van E_t tot de uitgangsstroom I_u, welke wij γ zullen noemen, is onafhankelijk van Z_u. Daar $E_u = I_u Z_u$ bestaat tusschen β en γ het verband $\beta = \gamma/Z_u$. In het eerste geval spreken wij van spanningstegenkoppeling, in het tweede geval van stroomtegenkoppeling. Deze twee gevallen zijn in de *fig. 6a* en *b* voorgesteld. Maakt men bijv. Z_u kleiner, dan zal in het geval *a* de uitgangsspanning E_u (tengevolge van de inwendige weerstand van de versterker) dalen, en hetzelfde geldt voor de tegengekoppelde spanning βE_u. In het

[6]) H. Nyquist. Regeneration theory, Bell Syst. techn. J. **11**, 126, 1932.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

geval *b* zal daarentegen bij vermindering van Z_u de uitgangsstroom I_u grooter worden en zoodoende ook de tegengekoppelde spanning γI_u.

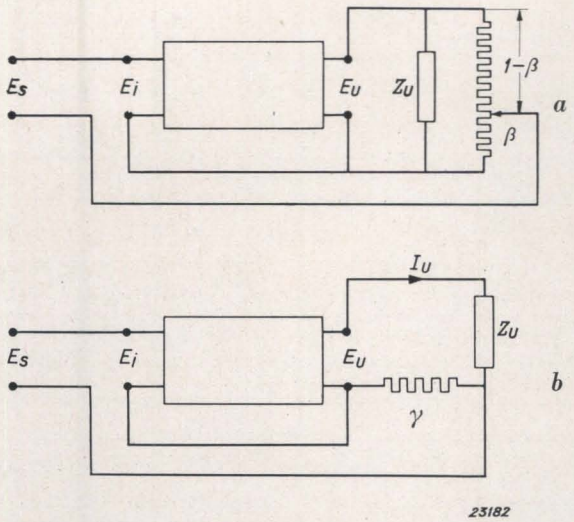


Fig. 6. *a* Spanningstegenkoppeling. De verhouding van de tegengekoppelde spanning tot E_u is onafhankelijk van Z_u. *b* Stroomtegenkoppeling. De verhouding van de tegengekoppelde spanning tot I_u is onafhankelijk van Z_u.

Wij zagen boven, dat de versterking bij sterk tegenkoppelen nadert tot $1/\beta$, dus bij spanningstegenkoppeling weinig van Z_u afhangt en bij stroomtegenkoppeling ongeveer evenredig met Z_u is, of m.a.w. dat de versterker door spanningstegenkoppeling een kleine inwendige weerstand krijgt, terwijl door stroomtegenkoppeling de inwendige weerstand groot wordt.

Wij willen deze verandering van inwendige weerstand nader onderzoeken. Ieder lineair systeem, dat eindigt in een klemmenpaar, is, wat zijn werking naar buiten betreft, te vervangen door zijn nullastspanning met zijn inwendige weerstand in serie geschakeld. Deze stelling willen wij op een versterker toepassen voor het berekenen van de inwendige weerstand. Werkt op de versterker een ingangsspanning E_i, dan is de nullastspanning aan de uitgangszijde voor te stellen door $v\,E_i$ en de inwendige weerstand door Z_i. Wordt de versterker belast met een weerstand Z_u, dan komen wij dus tot het schema van *fig.* 7.

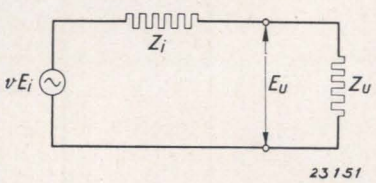


Fig. 7. Vervangingsschema van een versterker met ingangsspanning E_i, nullastspanning $v\,E_i$, inwendige weerstand Z_i en uitwendige weerstand Z_u.

De spanning op Z_u bedraagt dus

$$E_u = v E_i \cdot \frac{Z_u}{Z_i + Z_u} \quad \cdots\cdots \quad (5)$$

en dus is de versterking a gegeven door:

$$a = \frac{v\,Z_u}{Z_i + Z_u} \quad \cdots\cdots \quad (6)$$

Wordt tegenkoppeling toegepast, dan zagen wij boven (verg. (2)), dat het verband tusschen E_u en E_s gegeven wordt door

$$E_u = \frac{a}{1 + a\,\beta}\, E_s \cdot$$

Hierin de waarde van a uit (6) gesubstitueerd levert

$$E_u = \frac{v\,Z_u}{Z_i + Z_u + v\,\beta\,Z_u}\, E_s \cdot \quad (7)$$

Hebben wij te doen met spanningstegenkoppeling, dan is β onafhankelijk van Z_u en schrijven wij (7) in de vorm

$$E_u = \frac{v\,E_s}{1 + v\,\beta} \cdot \frac{Z_u}{\frac{Z_i}{1 + v\,\beta} + Z_u} \cdot \quad (8)$$

Vergelijken wij (8) met (5), dan zien wij, dat door de spanningstegenkoppeling de inwendige weerstand verandert in

$$\frac{Z_i}{1 + v\,\beta} \cdot$$

Tevens zien wij, dat de nullastspanning verandert in

$$\frac{v\,E_s}{1 + v\,\beta}$$

Hoe sterker de spanningstegenkoppeling is, des te kleiner zal de inwendige weerstand worden. Zijn Z_u, Z_i, a, β en v alle reëel en positief, dan volgt uit (6), dat a kleiner is dan v, zoodat de inwendige weerstand door de spanningstegenkoppeling dus sterker daalt dan de versterking, daar deze laatste van a daalt tot $a/(1 + a\,\beta)$. Is de inwendige weerstand zonder tegenkoppeling echter reeds klein t.o.v. de uitwendige weerstand, dan zijn a en v ongeveer aan elkaar gelijk en worden bij spanningstegenkoppeling versterking en inwendige weerstand ongeveer evenveel verkleind.

Hebben wij te doen met stroomtegenkoppeling, dan vervangen wij in (7) β door γ/Z_u, daar nu γ onafhankelijk is van Z_u, en krijgen dan:

$$E_u = v\,E_s \cdot \frac{Z_u}{Z_i + v\,\gamma + Z_u} \cdot \cdot \quad (9)$$

Vergelijken wij (9) met (5), dan zien wij, dat door de stroomtegenkoppeling de inwendige weerstand verandert in

$$Z_i + v\,\gamma \cdot$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Hoe sterker de stroomtegenkoppeling is, des te grooter zal de inwendige weerstand worden. Zijn Z_u, Z_i, α, γ en v alle reëel en positief, dan volgt uit (6), dat α kleiner is dan $v\,Z_u/Z_i$. Nu neemt de inwendige weerstand toe met de factor

$$(1 + \frac{v\,Z_u}{Z_i} \cdot \gamma/Z_u),$$

terwijl de versterking daalt met de factor

$$(1 + \alpha \cdot \gamma/Z_u),$$

zooals blijkt uit verg. (2) bij vervanging van β door γ/Z_u. Hieruit volgt dus, dat de inwendige weerstand door de stroomtegenkoppeling sterker toeneemt dan de versterking afneemt. Is de inwendige weerstand zonder tegenkoppeling echter reeds groot t.o.v. de uitwendige weerstand, dan is α ongeveer gelijk aan $v\,Z_u/Z_i$ en wordt bij stroomtegenkoppeling de inwendige weerstand evenveel vergroot als de versterking verkleind wordt.

Door een combinatie van stroom- en spanningstegenkoppeling toe te passen is bij een gegeven graad van tegenkoppeling elke gewenschte inwendige weerstand te bereiken.

Wij hebben uit het bovenstaande gezien, dat door toepassing van tegenkoppeling vele eigenschappen van een versterker op eenvoudige wijze beinvloed en andere eigenschappen belangrijk verbeterd kunnen worden. Het eenige, wat hiertegenover staat, is een verlies in versterking. Door de verbetering van de versterkerlampen is het echter thans mogelijk met een klein aantal lampen een groote versterking te bereiken, waardoor dit verlies in versterking in vele gevallen naast de te bereiken voordeelen niet meer als een groot nadeel behoeft te worden beschouwd. Tegenkoppeling wordt dan ook in de laatste tijd veelvuldig toegepast, zoowel in telefonieversterkers [7]), waar in verband met het groote aantal in cascade geschakelde versterkers een groote constantheid van de versterking noodig is, terwijl bij draaggolftelefonie tevens intermodulatie wordt voorkomen, als in radio-ontvangapparaten en versterkers voor geluidsweergave [8]), waarin de vermindering van de vervorming en de eenvoudige wijze om de frequentiekarakteristiek te beinvloeden, van groot voordeel zijn.

[7]) W. Six en H. Mulders. Het gebruik van versterkers in de telefoontechniek, Philips techn. T. **2**, 209, 1937.

[8]) B. D. H. Tellegen en V. Cohen Henriquez. Inverse feed-back, its application to receivers and amplifiers. Wirel. Eng. **14**, 409, 1937.

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

TOEPASSING VAN MAGNETISCHE OLIEFILTERS BIJ SMEERINRICHTINGEN

door L. H. DE LANGEN.

Samenvatting. Toestellen worden beschreven, die kleine magnetiseerbare deeltjes uit erlangs stroomende olie kunnen verwijderen. De hiermee bereikte vermindering van slijtage van assen en dergelijke wordt besproken.

Nadat gedurende lange tijd het smeren van kussenblokken en andere onderdeelen van machines eigenlijk uitsluitend den machinist aanging, kwam tegen het einde der vorige eeuw dit gebied der techniek ook onder het bereik der wetenschap, die aanvankelijk het vraagstuk vooral mathematisch aanpakte. Reynolds ging bij het opstellen der hydrodynamische smeertheorie [1]) uit van de evenredigheid tusschen de in de smeervloeistof optredende schuifspanning en het snelheidsverval. Sommerfeld, Michell, Gümbel en anderen hebben deze theorie later verder ontwikkeld. Van de verschillende onderstellingen, die aan de hydrodynamische smeertheorie ten grondslag liggen, zijn de twee volgende voor ons onderwerp van belang, nl.:

1. dat de oppervlakken, die over elkaar glijden, volkomen vlak zijn, en
2. dat het smeermiddel een zuivere vloeistof is.

In de praktijk wordt aan geen van deze beide voorwaarden geheel voldaan. Nieuwere onderzoekingen hebben geleerd, dat de meeste oppervlakken, zooals zij in de techniek met de gewone hulpmiddelen worden verkregen, zelfs bij matige vergrooting bekeken, gelijken op een berglandschap. De hoogten van de bergen in dit landschap zijn ongeveer van dezelfde orde van grootte als de dikte van de smerende olielaag. Het behoeft niet te verwonderen, dat, wanneer men deze oppervlakken over elkaar laat glijden, er van de smeertheorie niet veel terecht komt; de olielaag wordt verbroken en er ontstaat belangrijke slijtage. De schrijver heeft verschillende malen geconstateerd, dat zelfs van fijn gedraaide bussen, nadat daarin eenige uren lang een as had geloopen, de diameter eenige honderdste mm grooter was geworden; de toppen van de bergen waren weggesleten. Door deze slijtage komt de tweede onderstelling, nl. dat gesmeerd wordt met een zuivere vloeistof, in de verdrukking. De door slijtage vrij gekomen metaaldeeltjes circuleeren met de vloeistof mee en veroorzaken nieuwe slijtage. Deze ervaring leidt tot het uitspreken van de volgende paradox: een lager moet gesmeerd worden met zoo weinig mogelijk olie. Als de olie door slijtage verontreinigd is, kan men inderdaad beter weinig dan veel olie geven, opdat slechts weinig vaste deeltjes aan de verdere slijtage van de oppervlakken deelnemen. Van een bepaalde constructie, met twee ongeveer gelijk belaste lagers, waarvan het eene zeer veel olie kreeg en het andere uit dezelfde oliebak door toevallige omstandigheden bijna niets, vertoonde het eerste verreweg de grootste slijtage.

Na het voorafgaande is het niet moeilijk, middelen tot verbetering der smering en vermindering der slijtage aan te geven. In de eerste plaats moet gestreefd worden naar meer ideale oppervlakken en ten tweede dient gezocht te worden naar middelen om de in de olie zwevende metaaldeeltjes te verwijderen, vóór zij tot verdere slijtage aanleiding geven.

Het is thans mogelijk, door gebruik te maken van moderne bewerkingsmethoden als „lappen" en „honen" [2]) de oppervlakken van assen en lagers, ook in gewone productie, een zoodanig uiterlijk te geven, dat aan de hierboven gestelde eerste voorwaarde vrij goed wordt voldaan.

Dit artikel wil beschrijven een door ons ontwikkelde methode om de olie voordurend van de ijzeren deeltjes te ontdoen, waardoor ook de tweede wensch kan worden vervuld. Deze methode berust hierop, dat de circuleerende smeerolie voortdurend door een sterk magnetisch veld wordt gevoerd, zoodat de ijzerdeeltjes door één der polen worden aangetrokken en uit de olie afgescheiden.

De laatste ontwikkeling van het magneetstaal heeft het mogelijk gemaakt, met permanente magneten van niet te groote afmetingen velden van zoodanige sterkte te bereiken, dat ook zeer kleine ijzerdeeltjes daardoor kunnen worden afgescheiden.

In beginsel bestaan de magnetische oliefilters uit een cylindrische permanente magneet, geplaatst

[1]) O. Reynolds: Phil. Trans. Roy. Soc. London **177**, 157, 1886.

[2]) „Lappen" (Eng.: to lap) is een polijstmethode, waarbij een metalen oppervlak wordt geschuurd met een ander zachter metalen oppervlak onder toevoeging van een schuurmiddel, dat in een vloeistof is gesuspendeerd. Door aan het schurende oppervlak de juiste vorm te geven is het op deze wijze mogelijk de onderdeelen niet alleen glad maar ook zuiver van vorm en afmetingen te krijgen.
„Honen" (Eng.: to hone) is een soortgelijke bewerking, waarbij echter met steen wordt geschuurd inplaats van met een fijn schuurmiddel, dat in een zacht metaal is gebed. Het oppervlak wordt dientengevolge iets minder glad.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

in een cylindrische, door ijzeren wanden begrensde, ruimte. Een eenvoudige uitvoering is geteekend in *fig. 1*. De permanente magneet *A* is geplaatst in een

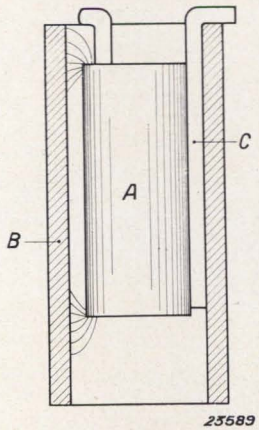


Fig. 1. Eenvoudig magnetisch oliefilter.

stalen pijpje *B*. Een drietal aan de magneet gesoldeerde messing draden *C* houdt de magneet in het midden van de pijp. In de linkerhelft zijn de krachtlijnen van de magneet geteekend. Stroomt door ijzerdeeltjes verontreinigde olie door deze pijp, dan wordt het ijzer vooral afgescheiden aan de bovenzijde van de magneet op de plaatsen van de grootste krachtlijnenconcentratie, zooals op de foto (*fig. 2*) van een verontreinigd magneetje te zien is.

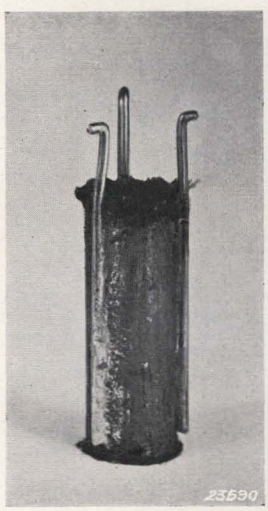


Fig. 2. Magneetje met ijzerslijpsel.

Een oliefilter van deze constructie voldoet zeer goed, maar is wat beperkt van capaciteit; doordat het vuil zich als een dunne ring afzet, is het filter snel gevuld.

Een oliefilter van meer volmaakte constructie is weergegeven in *fig. 3*. De permanente magneet *A* is bevestigd aan een ijzeren dop *B*, die geschroefd wordt in het ijzeren huis *C*. Een messingbus *D* met gaten *E* bevindt zich rondom de magneet om aan de doorstroomende olie, die bij *F* binnenkomt en bij *G* uittreedt, geleiding te geven. Deze constructie heeft

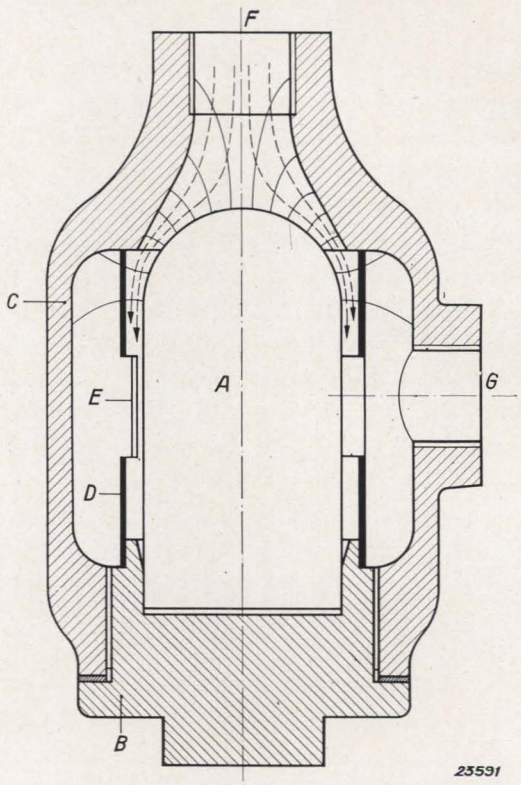


Fig. 3. Doorsnede van een oliefilter. De magnetische krachtlijnen zijn aangegeven met getrokken lijnen en de stroomlijnen zijn gestippeld.

drie belangrijke voordeelen. Ten eerste is hier een goed magnetisch circuit gevormd met slechts één luchtspleet, waardoor bij een bepaalde lengte van de permanente magneet een zoo sterk mogelijk veld wordt gevormd. Ten tweede is de bolvormige pool van de magneet zóó geplaatst tegenover het huis, dat de ijzerdeeltjes zich over het geheele boloppervlak afzetten en het filter dus veel vuil kan verzamelen. Ten derde is de luchtspleet zoodanig van vorm, dat de binnenstroomende olie ongeveer in dezelfde richting stroomt, als waarin de ijzerdeeltjes worden aangetrokken. De krachtlijnen en de stroomlijnen snijden elkaar volgens kleine hoeken; daardoor zijn de ijzerdeeltjes over een lange weg onderworpen aan de aantrekkende werking van de magneet.

Verschillende magnetische filters worden sedert eenige tijd in de Philips bedrijven toegepast. De eerste algemeene toepassing is gevonden bij de filmprojectoren van de Cinema-afdeeling, die tegenwoordig met magnetische oliefilters worden uitgerust. Langs twee wegen is er met succes getracht, de slijtage van filmprojectoren tot het uiterste te beperken. De eerste stap was het gladder en zui-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

verder maken van het oppervlak der onderdeelen. In dit opzicht is zeer veel bereikt. Alle assen en lagerbussen worden gelapt of gehoned; ook het malteezerkruis wordt door een speciale lapbewerking tot groote gladheid en hooge nauwkeurigheid (toleranties 1 à 2 micron) afgewerkt. De tandwielen hebben echter de gewone afwerking behouden, die door het fraisen met een kleine aanzet wordt verkregen. Slijpen of lappen van deze kleine tandwielen is nog niet mogelijk. Bij het inloopen gaven de tandwielen slijtsel, dat als schuurmiddel werkende, de fraaie oppervlakken van de gelapte assen, het malteezerkruis, enz. weer bedierf. Hier bracht het gebruik van eenvoudige magnetische filters groote vooruitgang. In het huis van het malteezerkruis zijn twee van deze filters ingebouwd. *Fig. 4* is een doorsnede over één

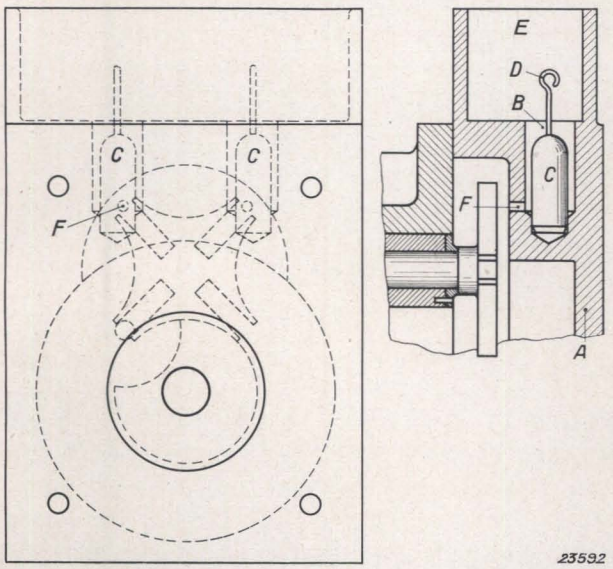


Fig. 4. De oliefilters *C* zijn hier aangebracht in gaten *B* in het huis *A* van het malteezerkruis van een filmprojector. Op het aanzicht (links) zijn zij gestippeld en rechts is een doorsnede over een magneetje geteekend.

dezer filters. *A* is een gedeelte van het huis, *B* is een gat, waarin de permanente magneet *C* is geplaatst. *D* is een ingegoten draad van niet magnetisch materiaal. *E* is een oliereservoir, dat voortdurend door de oliepomp wordt bijgevuld. De olie stroomt door het gaatje *F* in het huis. Van de door de oliepomp opgevoerde olie wordt alleen het voor het malteezerkruis bestemde gedeelte gefiltreerd. Daar de olie echter snel circuleert, komt ook de overige olie spoedig aan de beurt om naar het malteezerkruis gevoerd te worden. Deze methode bevalt zeer goed; indien men in een projector, waarvan de olie door de afgesleten ijzerdeeltjes donker is gekleurd, een magnetisch filter plaatst, ziet men de olie na eenige tijd weer blank worden. De lengte van de gevangen ijzerdeeltjes blijkt te liggen tusschen 0,4 en 4 micron.

De slijtage neemt na het eerste inloopen snel af, zooals uit de grafiek van *fig. 5* blijkt. Vooral voor

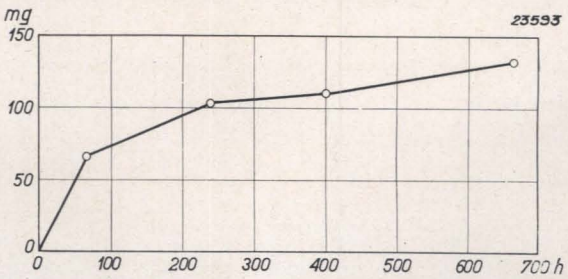


Fig. 5. Slijtage in een projector: gewicht van de door het magnetische oliefilter afgescheiden ijzerdeeltjes in afhankelijkheid van het aantal uren, dat de projector heeft geloopen.

het malteezerkruis is het beperken van de slijtage uiterst belangrijk; een malteezerkruis, dat door slijtage speling heeft gekregen, gaat harder slaan en slijt dan nog sneller.

Wij hebben ook een magnetisch filter geplaatst in een gereviseerde automobielmotor, waarvan de cylinders waren gehoned en de zuigers voorzien van nieuwe zuigerveeren. Een filter volgens fig. 3 werd in de persolieleiding geplaatst, zóó, dat alle olie er doorheen ging. Nadat de wagen 500 km geloopen had, bevatte het filter reeds 673 mg ijzerdeeltjes, waarvan de grootte varieerde tusschen 0,4 en 5 micron. *Fig. 6* is een foto van de magneet,

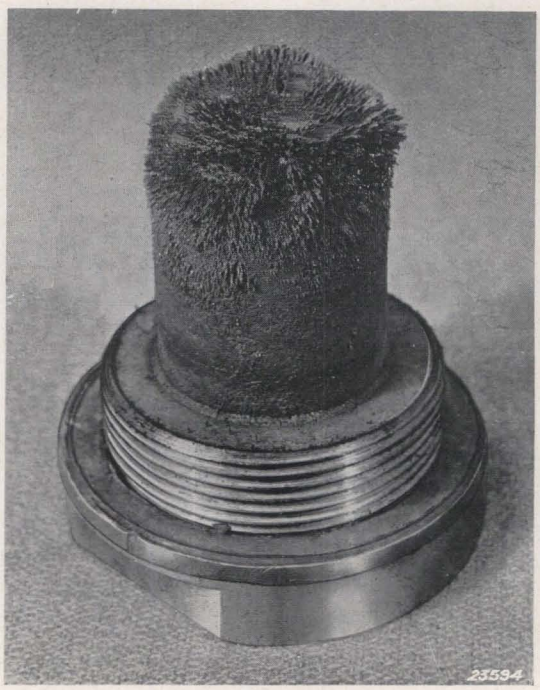


Fig. 6. Met ijzerslijpsel bezette oliemagneet.

nadat deze uit het filterhuis was genomen. Later werd de slijtage geringer, zooals te zien is in de grafiek van *fig. 7*. De slijtage heeft hier een soort-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

gelijk verloop als bij de projectoren is geconstateerd.

Ook bij verschillende bedrijfsmachines zijn met succes oliefilters toegepast. Zooals te verwachten

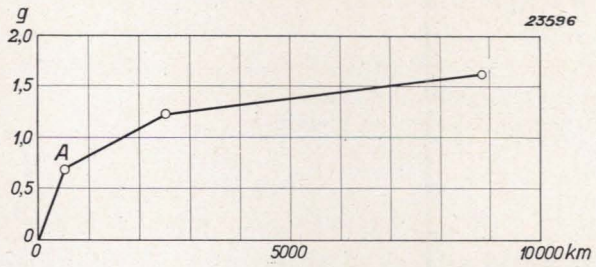


Fig. 7. Slijtage van een gereviseerde automobielmotor: gewicht van de door het oliefilter afgezette ijzerdeeltjes in afhankelijkheid van het door de auto afgelegde aantal kilometers. De magneet van fig. 6 werd uit het filterhuis genomen op het oogenblik, dat in deze figuur door het punt *A* is aangegeven.

was, werd echter in een filter bij een reeds lang ingeloopen stoomturbine weinig slijtsel gevonden.

Bij het toepassen van magnetische oliefilters kan men verschillende wegen inslaan. Vooral bij niet te groote machines is het praktisch om in de centrale oliepersleiding een oliefilter aan te brengen. Bij grootere machines met een zeer groote hoeveelheid circuleerende olie kan men ook volstaan met het zuiveren van slechts een gedeelte der olie, door het filter in een aftakking van de persleiding te plaatsen. Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van een eenvoudig oliefiltertje vlak vóór iedere smeerplaats. In vele gevallen is het niet moeilijk, de gaten voor de smering zoodanig in te richten, dat er een magneetje in geplaatst kan worden, bijv. in de geest van fig. 4.

Met een magnetisch oliefilter kunnen natuurlijk alleen magnetiseerbare deeltjes worden vastgehouden; deeltjes van brons of wit metaal blijven dus in de olie zweven. Gelukkig zijn de onderdeelen, die de meeste initiale slijtage geven, in de regel van ijzer of staal, zooals tandwielen, zuigerveeren, cylinders, enz.

In vele gevallen, waarin men thans nog vaak brons toepast, kan men met voordeel gietijzer gebruiken. Zoo was bijv. het gebruik van gietijzeren lagerbussen in de Philips-projectoren een succes, waarbij als neven-voordeel optrad de mogelijkheid om eventueel slijtsel van de lagerbussen in het magnetisch filter op te vangen.

De slijtage tengevolge van de metalen deeltjes in de smeerolie is nog onderzocht met het volgende eenvoudige proefje. Een in normale productie gelapte zilverstalen as van 10 mm diameter draaide gedurende $1^1/_2$ uur in gladde bronzen lagerbussen. Om zeker te zijn, dat niet door een geringe speling de smering ongunstig zou worden beinvloed, was de speling zeer ruim genomen, nl. 0,06 mm (verschil der diameters). Het asje, dat ca. 1000 omwentelingen per min maakte, werd met een snoertje van touw aangedreven; de spanning van het touw was de eenige belasting op de as. De lagers werden gesmeerd met olie, die kunstmatig verontreinigd was met ijzerdeeltjes, genomen uit een magnetisch oliefilter van een projector. Na afloop van deze proef vertoonde de as met het bloote oog waarneembare ringvormige groeven. Met een speciale Busch-microscoop voor het onderzoek van oppervlakken werd van het gesleten gedeelte der as en van een gedeelte, dat buiten de lagers lag, een foto gemaakt, die in *fig. 8* is af-

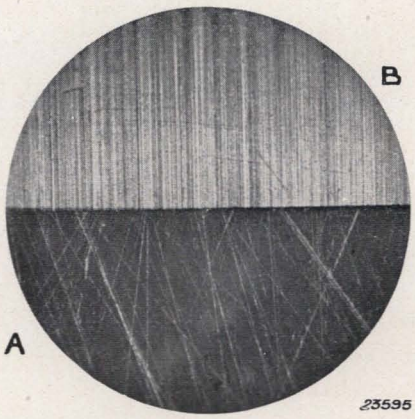


Fig. 8. Microfoto onder zijdelingsche belichting van het oppervlak van een asje. *A* is het ongesleten en *B* het gesleten gedeelte bij een vergrooting van 102 maal.

gebeeld. In deze microscoop kunnen ter vergelijking der oppervlakken twee voorwerpen worden geplaatst, die met zijdelings opgestelde lampjes worden belicht. Zijn de oppervlakken volkomen glad, dan wordt het licht naar de andere zijde gereflecteerd; de verticaal opgestelde microscoop ontvangt geen licht. Zijn er in het oppervlak groeven of oneffenheden, dan reflecteert ook licht in verticale richting. Ziende door de microscoop neemt men dan lichte strepen of punten waar. Het gedeelte *A* van de foto geeft het onbeschadigde gedeelte van de as. Duidelijk ziet men de elkaar kruisende fijne krassen van de polijst-bewerking. Het is niet moeilijk, een nog veel fraaier oppervlak te maken, dat nagenoeg zwart schijnt in het microscoop, maar voor de gewone praktijk is deze uiterste kwaliteit niet noodig. Het gedeelte *B* is een afbeelding van de gesleten as. Van de oorspronkelijke polijstkrassen is niets meer te zien; in plaats daarvan zijn er nu de veel grovere groeven, ontstaan door slijtage. Door deze eenvoudige proef die gemakkelijk gereproduceerd kan worden, wordt op overtuigende wijze aangetoond, dat het nemen van maatregelen voor het zuiveren van circuleerende smeerolie alle aandacht verdient.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

EEN RADIOVERBINDING OP DECIMETERGOLVEN TUSSCHEN EINDHOVEN EN NIJMEGEN

door C. G. A. VON LINDERN en G. DE VRIES.

Samenvatting. Een radioverbinding tusschen Eindhoven en Nijmegen wordt beschreven, bij welke gebruik gemaakt wordt van golven van omstreeks 25 cm. Magnetronzenders en superheterodyne ontvangers worden hierbij toegepast. Richtantennes, uitgevoerd met omwentelings-paraboloïden. met een versterking van ongeveer een factor 20, worden hierbij gebruikt.

Inleiding

In de laatste tijd zijn de zendlampen voor golven van ongeveer 25 cm (1200 MHz) belangrijk verbeterd, zoodat zij in staat zijn betrekkelijk groote vermogens op te wekken. Dit was aanleiding met deze golven een experimenteele verbinding tusschen Eindhoven en Nijmegen tot stand te brengen. De eindpunten dezer verbinding waren ongeveer 50 km van elkaar verwijderd en gelegen op de ruim 50 m hooge toren der gloeilampenfabriek te Eindhoven en op de watertoren van Berg en Dal [1]), die zich bevindt op een der hoogste punten in de buurt van Nijmegen. In een vorig artikel [2]) hebben de schrijvers reeds gewezen op de belangrijke voorwaarde voor behoorlijke overdracht: het vrije zicht. Dit vrije zicht speelt hier in verband met de kortere golflengte zoo mogelijk een nog belangrijker rol.

In *fig. 1* is de situatie voor het traject Eindhoven-

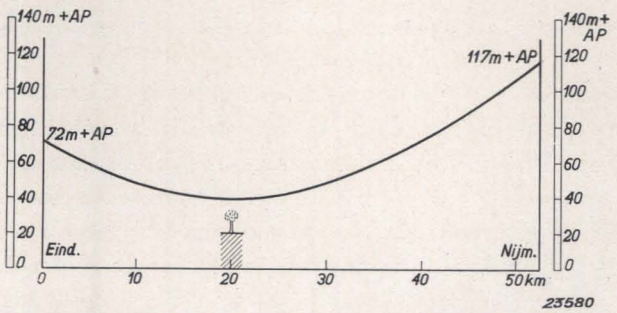


Fig. 1. De gekromde lijn stelt de lijn voor van direct zicht tusschen zender en ontvanger bij de verbinding van Eindhoven met Nijmegen. De aarde is hierbij recht geteekend als x-as; deze lijn is de lijn van A.P.

Nijmegen weergegeven, waarbij de lijn van direct zicht de verbindingslijn is van de zendantenne op de toren van de gloeilampenfabriek en de antenne op de toren van het waterleidingbedrijf. Hieruit blijkt, dat, evenals dit op het traject Eindhoven-Tilburg het geval was, de lijn van direct zicht ook hier minstens 10 m boven de boomkruinen en eventueele gebouwen blijft.

Zendproeven in de richting Nijmegen gedaan met behulp van een draaibare experimenteele Yagi-antenne, die in fig. 5 op p. 174 van ons vorige artikel in dit tijdschrift is weergegeven, bevestigden, dat er vrij zicht was, omdat de ontvangen veldsterkte bij Nijmegen, wat orde van grootte betreft, klopte met hetgeen men bij vrij zicht kon verwachten.

De antennes

Om zich eenigermate te oriënteeren omtrent de afhankelijkheid der ontvangsterkte van de gebruikte frequentie, kan men in de eerste plaats het geval beschouwen, waarbij zender en ontvanger geheel vrij zijn opgesteld. Bevinden zoowel zender als ontvanger zich vrij zwevend in de ruimte, ver van de aarde verwijderd, dan is de veldsterkte aan de ontvangzijde evenredig met de wortel uit de energie W in de dipool van de zender en omgekeerd evenredig met de afstand R tusschen zender en ontvanger, dus gelijk aan $k_1 \sqrt{W}/R$.

Maakten wij op de golven van 1 m gebruik van Yagi-richtantennes [2]), bij golven van 25 cm komt de omwentelingsparaboloïde in aanmerking. De richtwerking van deze spiegels is belangrijk grooter en wel bij een diameter van 3 m ongeveer 6 maal zoo groot als van de vroeger beschreven Yagi-richtantennes, waarvan de versterking ongeveer 3,5 bedraagt. De versterking van een dergelijke reflector is globaal gelijk aan $\pi R'/\lambda$, waarin R' de grootste straal van de paraboloïde is en λ de golflengte, beide in dezelfde eenheden uitgedrukt [3]).

Het is vanzelfsprekend, dat een dergelijke versterking samenhangt met een kleine openingshoek van het richtingsdiagram der paraboloïde; dit is dan ook veel beter dan van de Yagi-antenne. Zooals uit *fig. 2* blijkt, is de openingshoek ongeveer 11 °. Voor geheimhouding in dien zin, dat men slechts een bepaald gebied wil bestrijken, is dit van voordeel.

Gebruikt men voor zend- en ontvangantenne paraboloïden met stralen R_1', resp. R_2' en versterkingsfactoren g_1, resp. g_2, dan wordt de veldsterkte even-

[1]) Dank zij de welwillende medewerking der Directie van de Stichting „De waterleiding Berg en Dal".

[2]) Philips techn. T. **2**, 173, 1937.

[3]) C. J. H. A. Staal, Transmitt. News **3**, No. 3, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

redig met $g_1 g_2 \frac{\sqrt{W}}{R}$ of $\frac{\pi R_1'}{\lambda} \cdot \frac{\pi R_2'}{\lambda} \cdot \frac{\sqrt{W}}{R}$. Het komt evenwel niet aan op deze veldsterkte, maar op de in de antenne geinduceerde electromotorische kracht.

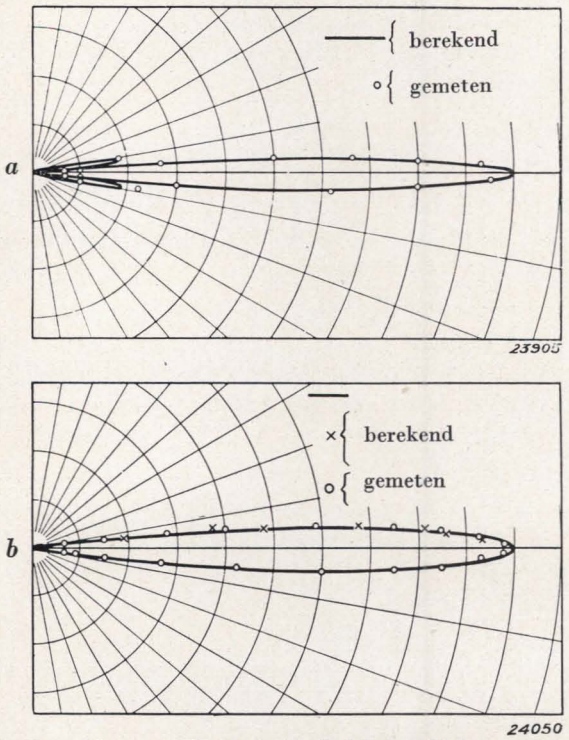


Fig. 2. *a* Horizontaal, *b* verticaal richtingsdiagram, gemeten en berekend, voor een omwentelingsparaboloïde met een verticale dipool in het brandpunt.

De ontvangantenne is een halve golf lang, zoodat de geinduceerde electromotorische kracht evenredig wordt met $g_1 g_2 \lambda \frac{\sqrt{W}}{R}$ of met $\frac{R_1' R_2'}{\lambda R} \sqrt{W}$. Wij zien dus, dat het signaal, dat de ontvanger bereikt, evenredig met de frequentie toeneemt, wanneer de diameters der paraboloïden en de zendenergie constant worden gehouden. Voorts kunnen met behulp van deze uitdrukkingen de condities voor golven van 25 en 125 cm met elkaar worden vergeleken. Bedraagt de diameter van de paraboloïde aan de zendzijde 3 m en aan de ontvangzijde 1 m en is de zendenergie 5 watt, dan is bij de gebezigde golflengte van 25 cm de in de ontvangantenne geinduceerde EMK grooter dan voor een golflengte van 125 cm, waarbij twee Yagi-antennes worden gebruikt en de energie aan de zendzijde op 10 watt wordt gerekend. De transmissie op de kortere golf is wellicht gunstiger dan voor de langere golf, aangezien de lijn van direct zicht meer golflengten boven de aarde blijft. Bovendien hangt het uiteindelijk resultaat niet alleen af van de in de antenne geinduceerde EMK, maar evenzeer van de gevoeligheid van de gebruikte ontvanger.

De magnetronzender

De energiebron voor een frequentie van 1200 MHz (golflengte van 25 cm) is momenteel het magnetron, wanneer wij een betrekkelijk groote energie ter beschikking willen hebben. Een magnetron is in het algemeen een diode, met een uit meer deelen bestaande cylindrische anode en een electronen emitteerende gloeidraad, die een weinig naast de as van de cylinder is geplaatst en waarbij in de richting van de gloeidraad een constant magnetisch veld wordt aangebracht. De electronenbanen worden hierdoor gekromd, daar de op de electronen werkende electrische veldsterkte E en de centrifugaalkracht $m v^2/r$ naar buiten gericht zijn, terwijl de tengevolge van het magneetveld werkende Lorentzkracht $e v H$ loodrecht op de baan naar binnen is gericht (*fig. 3*). Deze component is evenredig

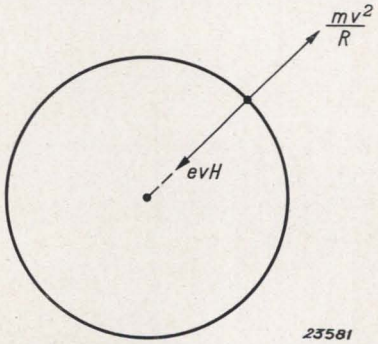


Fig. 3a. Krachten, die op een electron werken in een homogeen magnetisch veld, wanneer geen electrisch veld aanwezig is, doch de electronen een bepaalde beginsnelheid hadden.

met de snelheid van het electron en de sterkte van het magneetveld. In een electrisch veldlooze ruimte loopen de electronen rond in een cirkelbaan, welks straal afhangt van de snelheid van het electron. Wanneer een radiaal electrisch veld aanwezig is, zal de vorm van de baan ongeveer hartvormig

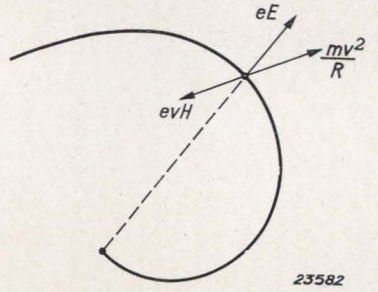


Fig. 3b. Krachten, die op een electron werken in een magnetisch veld, wanneer een radiaal electrisch veld aanwezig is.

zijn. Bij een geschikte keuze van de anodespanning in het magneetveld geeft deze electronenbeweging in een bepaald frequentiegebied aanleiding tot een negatieve weerstand tusschen de segmenten van de anode, waardoor het mogelijk is om het magnetron

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

te gebruiken als oscillator. Is deze negatieve weerstand grooter dan de ohmsche weerstand van de *LC*-kring of de afgestemde tweedraadsgeleider (Lechersysteem), die met het magnetron is verbonden, dan slingert een eventueel aanwezige trilling op, tot bij grootere amplitude door de kromming van de karakteristiek een evenwichtstoestand wordt bereikt. Dit geldt natuurlijk voor iedere oscillatorschakeling.

De problemen, die naar voren treden, wanneer men een magnetron wil gebruiken voor communicatie-doeleinden, zijn o.a. de kwestie van het moduleeren en de constantheid van de draadlooze verbinding. Het moduleeren van de anodespanning brengt verschillende moeilijkheden met zich mede. Zoo verandert met de anodespanning de frequentie van een magnetron-oscillator belangrijk, terwijl voorts de karakteristiek, die voorstelt de hoogfrequente spanning als functie van de anodespanning, niet alleen niet recht is, maar bovendien discontinuiteiten vertoont [4]). Om een constante draadlooze verbinding te hebben, moeten de energiebronnen een constante spanning leveren. Een constant magnetisch veld is eenvoudig te verwezenlijken door het toepassen van een permanente magneet, zooals is afgebeeld in *fig. 4*. Niet alleen

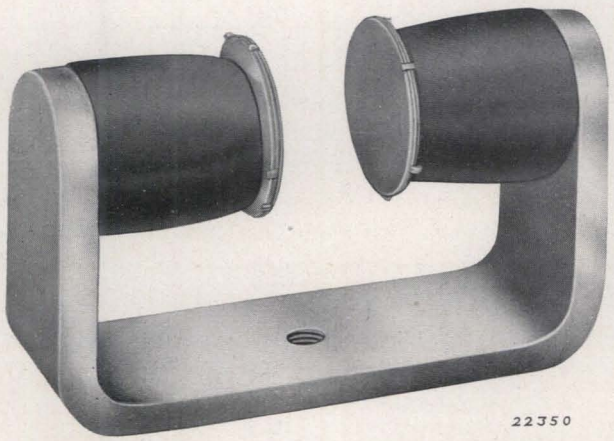


Fig. 4. Een permanente magneet voor een magnetron voor een golflengte van 25 cm. Het veld heeft een waarde van 1000 gauss.

heeft men dan het groote voordeel van de onveranderlijke frequentie, maar men heeft tevens niet te maken met het voeden van een electromagneet en het vereffenen van de daartoe benoodigde gelijkspanning. Behalve een gewichtsbesparing in de installatie beteekent dit een rendementsverbetering voor het geheel. Een ander punt is de toelaatbare variatie in de anodespanning. Deze is afhankelijk van de gebruikte ontvangers, zooals later zal blijken, en mag niet meer bedragen dan 0,1 volt. Dit komt dus neer op een variatie van minder dan 0,1 $^0/_{00}$, hetgeen wordt verkregen met behulp van een speciale spanningsregelaar. Het principe ervan komt hierop neer, dat een gedeelte van de constant te houden spanning wordt vergeleken met een constante batterij; een eventueele afwijking van de spanning beïnvloedt een weerstand, die tusschen spanningsbron en zender is opgenomen. Dit is dus het principe van de tegengekoppelde gelijkstroomversterker. Ook aan de constantheid van de gloeistroom worden hooge eischen gesteld. Men kan hierin met behulp van een met waterstof gevulde ijzerdraadweerstandslamp voorzien.

Wij hebben een speciaal *modulatiesysteem* toegepast, dat voor magnetronzenders is uitgevoerd, doch in het algemeen bruikbaar is voor het moduleeren van oscillatoren, waarvan de frequentie in sterke mate afhankelijk is van de voor het moduleeren te veranderen spanning. De methode van moduleeren komt hierop neer, dat men *niet de amplitude* van de draaggolf verandert, *maar de tijd*, gedurende welke de zender oscilleert. Wanneer geen laagfrequente modulatiespanningen aan de zender worden toegevoerd, laat men de oscillator periodiek genereeren en niet genereeren, waarbij de tijdsduur van beide perioden gelijk is. De laagfrequente modulatiespanningen veroorzaken een verandering in de tijdsduur van die perioden, met dien verstande, dat, wanneer de genereerperiode verlengd wordt, de periode, waarin geen oscillaties optreden, evenveel wordt verkort en omgekeerd. Het gevolg hiervan is, dat de gemiddelde hoogfrequente energie voor elk moment van de laagfrequente periode zal correspondeeren met de momenteele amplitude van de laagfrequente wisselspanning, wanneer de interruptie-frequentie groot is ten opzichte van de lage frequentie. Op de ontvanger zal dit tenslotte dezelfde eindindruk teweegbrengen, als wanneer de antenne-energie op de meer gebruikelijke manier zou varieeren. Het mooie van de methode is, dat noch de afhankelijkheid van de anodespanning, noch het euvel van de niet-lineaire en discontinue modulatiekarakteristiek ook maar eenige rol speelt, al moet hieraan direct worden toegevoegd, dat het nadeel van de methode is, dat het overgebrachte frequentiegebied tot ca. 20 000 perioden per sec beperkt is om practische redenen, die later zullen worden aangegeven.

Het oscilleeren en niet-oscilleeren kan men op verschillende manieren bereiken. Een van de wijzen, die wij uitvoerden en die in de beschreven installatie is toegepast, komt hierop neer, dat parallel aan het magnetron een variabele weerstand wordt aan-

[4]) C. G. A. von Lindern, Transmitt. News **2**, no. 2, 1935.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

gebracht, waarbij het magnetron (en dus ook de parallel geschakelde weerstand) wordt gevoed over een constante weerstand. Is de variabele weerstand

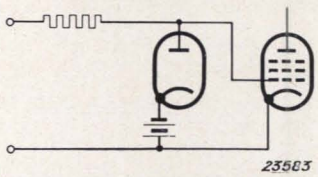


Fig. 5. De diode met serieweerstand om de spanningen in de roosterkring van de penthode te begrenzen.

oneindig groot, dan werkt het magnetron normaal; maakt men de variabele weerstand evenwel kleiner, dan gaat deze dus stroom nemen en hierdoor zal de spanning van het magnetron afnemen. Men kan nu twee dingen doen: in de eerste plaats de stroomopname van de variabele weerstand zoo groot maken, dat het magnetron ophoudt met genereeren, waartoe men de anodespanning niet veel behoeft te veranderen; in de tweede plaats kan men de stroomopname van de variabele weerstand kleiner doen zijn, waardoor wel een groote frequentievariatie optreedt, maar het oscilleeren niet wordt onderbroken. In dit laatste geval worden dus twee golven uitgezonden, waardoor in het algemeen de betrouwbaarheid van een verbinding wordt verbeterd. Het zal nochtans van het gebruikte ontvangsysteem afhangen, welke methode men kiest, omdat de beide golflengten betrekkelijk dicht bij elkaar komen te liggen en het resultaat zou zijn, dat men met een onselectieve ontvanger in het geheel niets of weinig van de modulatie zou hooren. Wij kozen evenwel de laatste methode, omdat een voldoend selectieve super-heterodyne ontvanger werd gebruikt en verder, omdat bij een kleinere stroomopname door de veranderlijke weerstand ook het verschil in belasting van de gelijkstroombron bij een minimale en maximale waarde van de laagfrequente wisselstroom kleiner is, zoodat de vereffeningscondensator van de hoogspanningsvoedingsbron kleiner kan worden. Als variabele weerstand gebruikten wij een penthode, wier eerste rooster wij periodiek sterk negatief (zg. afgeknepen) en minder negatief maakten. Wij bereikten dit doel met behulp van een zaagtandvormige wisselspanning, waarvan de amplitude groot was ten opzichte van de noodzakelijke variatie in de roosterspanning van de penthode. Wanneer deze roosterspanning ongeveer nul is (de zaagtandspanning heeft de extreme waarden $+ A$ en $- A$), vindt de overschakeling plaats van oneindig groote weerstand naar kleinere weerstand. Hoe die weerstand na de omschakeling constant wordt en hoe hierdoor tevens het rooster van de penthode wordt beveiligd tegen overbelasting, wordt nog toegelicht. Belangrijk is momenteel, dat het omschakelen in een kort tijdsbestek plaats vindt; het moet immers geschieden gedurende een klein deel van de periode van de zaagtandspanning, waarvan de frequentie groot is ten opzichte van die der laagfrequente spanningen. Het is dus mogelijk om dit omschakelen op elk moment van een periode van de zaagtandspanning te doen plaats vinden door een gelijkspanning in serie aan te brengen met de zaagtandspanning. Wanneer deze spanning $+ A$ is, zal de variabele weerstand geen enkel oogenblik meer oneindig

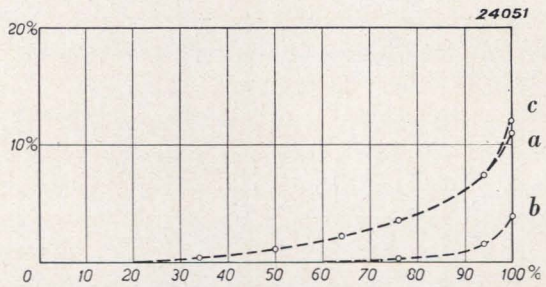


Fig. 6. De vervorming als functie van de modulatiediepte bij het toepassen van een sinusvormige hulpspanning inplaats van een zaagtandspanning. *a* is de derde harmonische, *b* de vijfde harmonische en *c* is de totale vervorming uitgedrukt als middelbare afwijking gedeeld door eerste harmonische.

worden, met andere woorden, het magnetron zal geen moment meer de frequentie van de ontvanger genereeren, terwijl, wanneer de gelijkspanning $- A$ bedraagt, het genereeren van deze frequentie niet meer zal worden onderbroken.

Wanneer wij in plaats van een gelijkspanning een wisselspanning, waarvan de frequentie klein is ten opzichte van de hulpfrequentie, in serie met de zaagtandspanning aanbrengen, dan zal evenzoo het magnetron genereeren, zoodra de wisselspanning negatief wordt en niet genereeren bij positieve wisselspanning. Op deze wijze kan men derhalve de magnetronzender moduleeren. Wanneer de amplitudo van de laagfrequente wisselspanning A bedraagt, dwz. gelijk is aan die der zaagtandspanning, is de modulatiediepte 100 %.

Om te zorgen, dat, direct nadat de penthode de juiste weerstand heeft gekregen, deze toestand wordt bestendigd gedurende het verdere gedeelte van de zaagtandperiode, dat het rooster van de penthode meer positief wil maken, is er tusschen rooster en gloeidraad van de penthode een diode geplaatst als aangegeven in *fig.* 5. De diode heeft een zeer kleine inwendige weerstand en de serieweerstand is zoodanig gedimensioneerd, dat deze groot is ten opzichte van de inwendige weerstand van deze diode. Wanneer de anode van de diode dus maar even positief wordt ten opzichte van de kathode,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

zal de zaagtandspanning door de serieweerstand worden opgenomen en blijft er een practisch constante spanning tusschen rooster en gloeidraad van de penthode over. Het is dus duidelijk, dat het

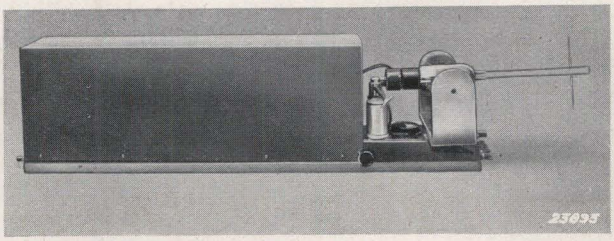


Fig. 7. Foto van de zender.

rooster van de penthode hierdoor tevens is beveiligd tegen overbelasting. Door de groote serieweerstand gaan echter de door weerstand en capaciteit bepaalde relaxatietijden in de roosterkring (en dit geldt ook voor de anodekring) een rol spelen. Dit is de reden, dat de over te brengen frequentieband is beperkt tot ca. 20 000 perioden per sec. Een vereenvoudiging in de installatie treedt op door het toepassen van een sinusvormige hulpspanning inplaats van de zaagtandspanning. In *fig. 6* is de vervorming, die hierdoor ontstaat, weergegeven als functie van de modulatiediepte. Het blijkt, dat deze vervorming niet hinderlijk is.

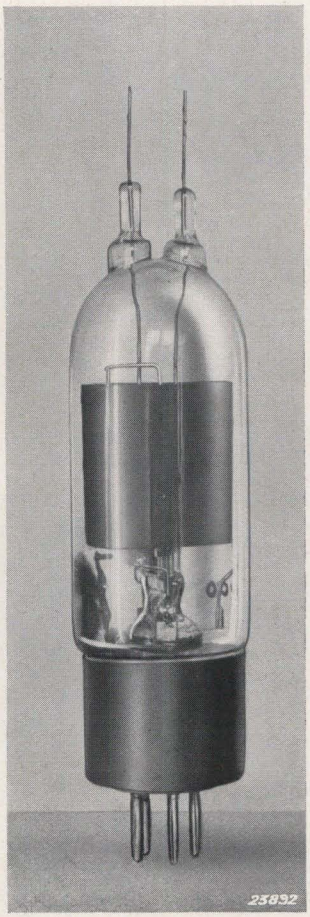


Fig. 8. Foto van het gebruikte magnetron.

De *fig. 7*, *8* en *9* zijn eenige fotografieën van de gebruikte zendinstallatie, van het magnetron en van de parabolische reflector met de zender.

De ontvangers

Evenals bij de ontwikkeling van de ontvangers voor de verbinding met Tilburg, die wordt onderhouden op een golflengte van ongeveer 125 cm, is ook hier gebruik gemaakt van het superheterodyne

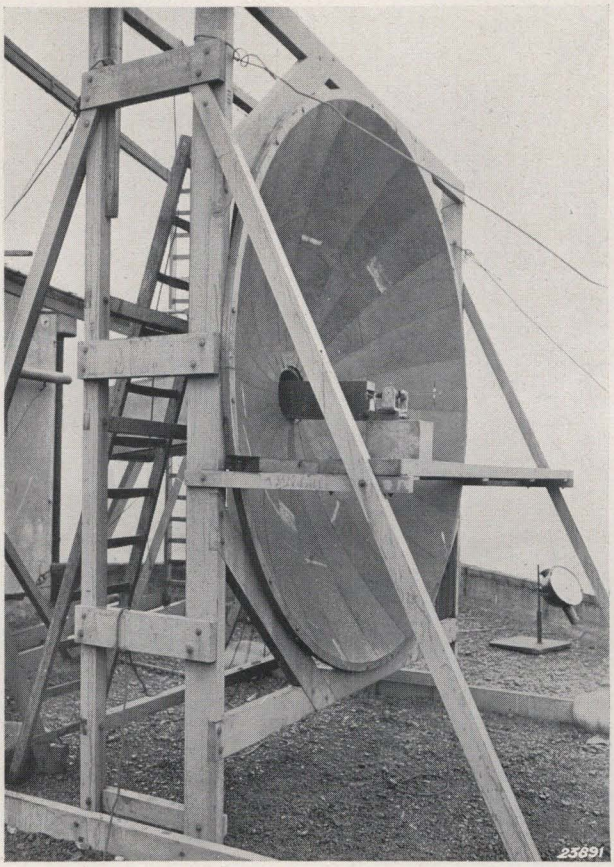


Fig. 9. Foto van de parabolische reflector met de zender op de toren van de gloeilampenfabriek in Eindhoven.

principe. Om met dezelfde bandbreedte als bij de ontvangers voor 125 cm uit te komen, werd besloten de golflengte van de zender en van de generator in de ontvanger voldoende constant te houden. Men kan dan eventueel naar nog kortere golven overgaan zonder direct te stuiten op het bezwaar, dat het vrijwel onmogelijk is een geschikte middelfrequentversterker te construeeren.

Men kan of wel een generator nemen, die vrijwel dezelfde golflengte opwekt als die, welke moet worden ontvangen — namelijk 7,5 MHz ervan

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

verschilt, d.i. de middelfrequentie, die ook werd gebruikt in de ontvanger van Eindhoven - Tilburg — of een, die een golf opwekt, welke een geheel aantal malen langer is, en dan een harmonische hiervan gebruiken. Bij de eerste methode staan Barkhausen- eventueel Pierretlampen ter beschikking en magnetrons. Bij de tweede kan men hetzij van Barkhausen-of van Pierret-lampen gebruik maken, hetzij van triodegeneratoren.

Voor het opwekken van Barkhausen- of Pierrettrillingen neemt men meestal een triode met een gloeidraad van wolfraam, cylindrisch rooster en cylindrische plaat. Het rooster wordt positief ten opzichte van de kathode gemaakt, de „anode" iets negatief. Aan rooster en anode wordt een Lechersysteem verbonden, dat bestaat uit twee parallele draden, waarover de brug *B* kan bewegen (*fig. 10*). Bij geschikte afstand tusschen

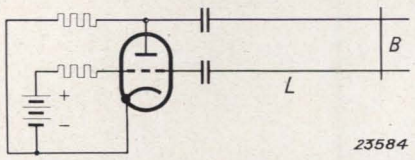


Fig. 10. Schema van een Barkhausenlamp met Lechersysteem.

brug en lamp blijken dan trillingen te worden opgewekt, waarvan de golflengte sterk afhankelijk is van de roosterspanning, daarnaast ook van de stand van de brug.

Ter verklaring neemt men gewoonlijk aan, dat de electronen een trillende beweging om het rooster uitvoeren, dat immers, daar het positief is, de electronen aantrekt; een gedeelte zal tusschen de roosterdraden doorschieten inplaats van er op terecht te komen, vóór de negatieve „anode" omdraaien, weer tusschen de roosterdraden doorschieten, vóór de kathode omdraaien, enz. Indien alle electronen dit onafhankelijk van elkaar doen, zal hierdoor nog geen wisselspanning in de electroden worden geïntroduceerd. Bij nadere beschouwing blijkt er echter een zekere wisselwerking te bestaan tusschen de potentialen der electroden en de electronenbeweging, en trouwens ook tusschen de electronen onderling. Deze wisselwerking doet de ongeordende beweging in een geordende verkeeren.

Men kan nu de door de antenne opgevangen trilling mede aan de Barkhausenlamp toevoeren; door niet-lineariteit zal er een zekere menging optreden en de verschilfrequentie tusschen de Barkhausentrilling en de opgevangen trilling kan aan de middelfrequentversterker worden toegevoerd.

De Pierretlamp werkt op dezelfde wijze als de Barkhausenlamp, maar nu wordt niet een Lechersysteem tusschen rooster en anode afgestemd, doch het rooster zelf (*fig. 11*), dat als spiraal zonder steunstaaf is uitgevoerd.

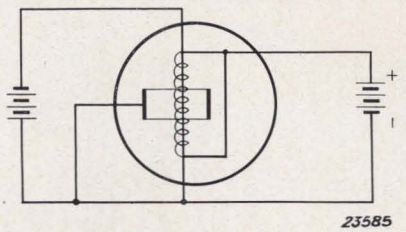


Fig. 11. Schema van een Pierretlamp.

Het bleek inderdaad mogelijk op deze wijze behoorlijk gevoelige ontvangers te construeeren, echter was de bediening minder eenvoudig dan van triodegeneratoren, terwijl ook geen geschikte indirect verhitte lampen ter beschikking stonden, zoodat wisselstroomvoeding niet kon worden toegepast.

Voorts is het een bezwaar, dat de frequentie sterk van de roosterspanning afhangt, zoodat vergaande stabilisatie noodzakelijk is.

We hebben later de voorkeur gegeven aan de tweede methode: de triodegenerator werkend op een golf, die eenige malen langer is dan de te ontvangen golf. De generator kan worden afgestemd op golflengten tusschen 110 en 130 cm. De afstemming wordt verkregen door draaien aan een condensator. Deze trilling van ruim 1 m golflengte wordt samen met de te ontvangen trilling toe-

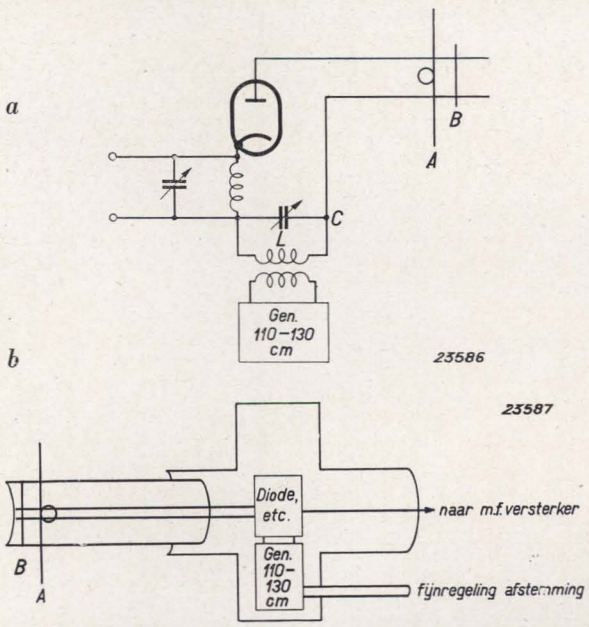


Fig. 12. *a* schakeling, *b* schematische voorstelling en constructie van de diode mengtrap.

gevoerd aan een diode, waarvoor een eikeldiode kan dienen. De diode fungeert als menglamp. De schakeling is weergegeven in *fig. 12*. Het koppelspoeltje *L* wordt eens voor al afgestemd op bijv.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

120 cm. Deze afstemming is zoo vlak, dat het geen zin heeft hieraan te gaan bijregelen, als de generator wordt afgestemd. De te ontvangen golf bereikt de diode door het Lechersysteem, dat wordt afgestemd door de brug *B* te verschuiven. De antenne *A* is inductief met het Lechersysteem gekoppeld. De plaats voor de brug moet voor behoorlijke gevoeligheid tot op enkele millimeters juist zijn; fijnregelen hiervan is niet noodig. Daar het Lechersysteem via spoel *L* direct aan de middelfrequentversterker is verbonden, moet alles behoorlijk worden afgeschermd. Is deze afscherming onvoldoende, dan dringen storende signalen van zenders, die met een golflengte van ongeveer 40 m

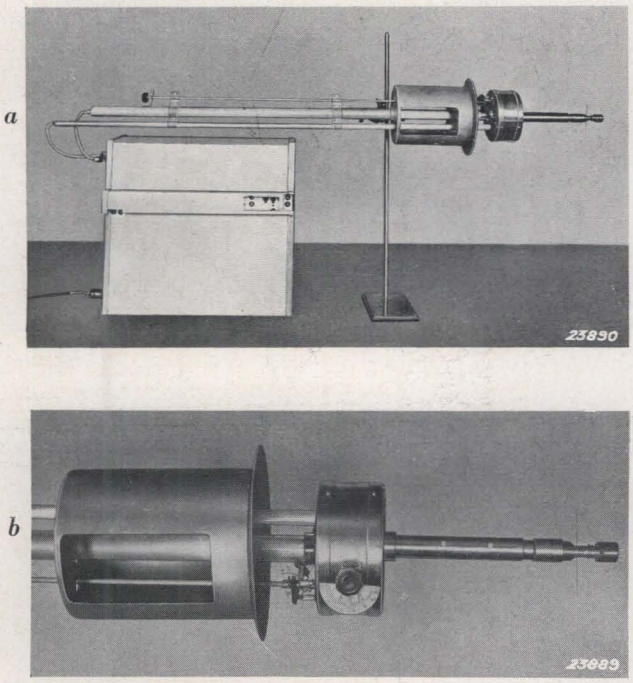


Fig. 13. *a* geeft de mengtrap, middelfrequentversterker en laagfrequentversterker weer; *b* de mengtrap afzonderlijk op grooter schaal.

werken, in de ontvanger door, daar de middelfrequentie 7,5 MHz bedraagt. Ook het midden van de lus der antenne wordt met deze afscherming verbonden.

Practisch wordt het uitgevoerd, als in *fig. 13* is aangegeven. Generator en diode zijn in een messingdoos gemonteerd, die voorzien is van een pijp van bijv. 2 cm diameter en 15 cm lengte. Een tweede buis kan hierin schuiven. Geisoleerd is in deze laatste de brug aangebracht; de Lecherdraden loopen door beide buizen en steken door gaatjes in de brug heen. De antenne is in het midden bevestigd aan de nauwste buis en steekt aan weerskanten door ruime openingen naar buiten. De buis loopt wat verder door dan tot de brug om deze en het overblijvend stukje Lechersysteem af te schermen. De in de diode ontstane middelfrequente trilling wordt naar de middelfrequentversterker geleid door een draad, die gespannen is in een buis, welke is bevestigd achteraan de doos, die generator en diode bevat. Deze doos is dan bevestigd in de paraboloïde,

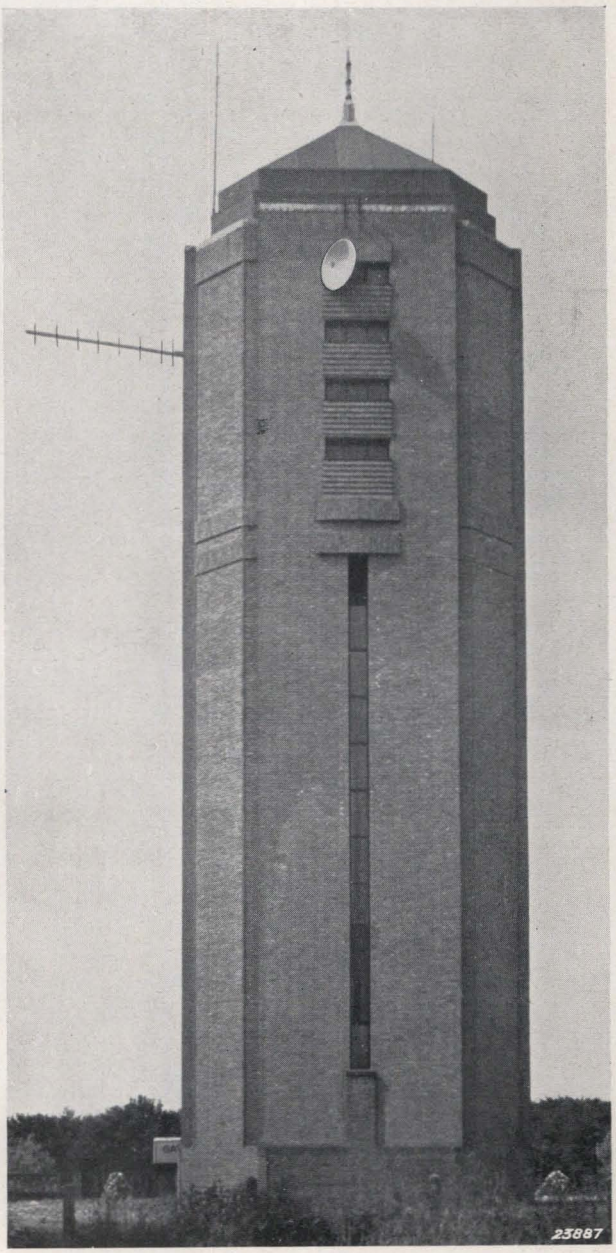


Fig. 14. Foto van den watertoren Berg en Dal met antennesysteem.

of vlak erachter, al naar de brandpuntsafstand. De paraboloïde is „buitenshuis" aangebracht, buiten een raam van de watertoren in ons geval; de middelfrequentversterker, enz. zijn „binnen".

Het fijnregelen van de afstemming geschiedt door draaien aan een fijnregel-condensator, die parallel aan de hoofdcondensator is geschakeld; daartoe

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

is langs de buis, die de middelfrequentspanning naar binnen voert, nog een draaibare staaf aangebracht.

De aan het begin van de middelfrequentversterker beschikbare spanning is van dezelfde orde van grootte als voor de golf van 125 cm. Behoorlijke telefonieoverdracht is mogelijk met aan de ontvangzijde een reflector van ongeveer 1 m middellijn; voor telegrafie kon met een ontvanger zonder reflector worden volstaan. In beide gevallen had de reflector aan de zendzijde een diameter van ongeveer 3 m.

Ten gebruike bij groote paraboloïden met ongeveer 1 m brandpuntsafstand werd voorts nog een lange smalle ontvanger ontwikkeld, waarbij de middelfrequentversterker met tweede detector en laagfrequentversterker in de lengte was gebouwd, en dit alles met de mengtrap en het voedingsapparaat tot een geheel vereenigd, dat in de as van de paraboloïde wordt opgesteld, zoodat zoo min mogelijk schaduw wordt geworpen.

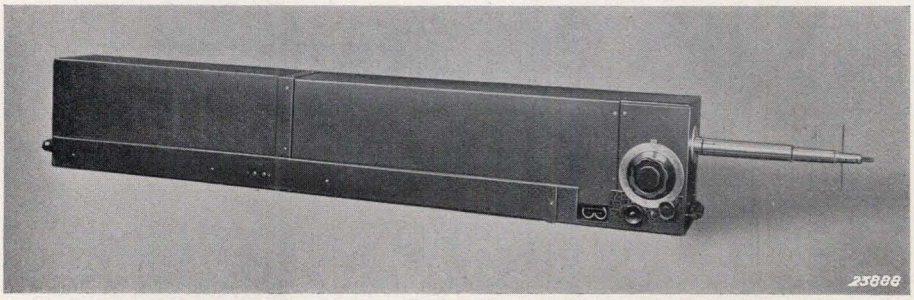


Fig. 15. Foto van de lange ontvanger in de paraboloïde.

In *fig. 14* vindt men een foto van het aan de ontvangzijde gebruikte antennesysteem en in *fig. 15* een afbeelding van de lange ontvanger.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

VERBINDINGEN TUSSCHEN METAAL EN GLAS

door H. J. MEERKAMP VAN EMBDEN.

Samenvatting. Een overzicht wordt gegeven van de metaal-glas verbindingen en de eischen daaraan door de techniek gesteld. Nader wordt besproken de toepassing der chroomijzer-glaslasschen, voornamelijk bij gasontladingsbuizen.

Inleiding

Sedert Geissler zijn proeven met de voorloopers der tegenwoordige neonbuizen deed, hebben de ontladingsbuizen een geweldige ontwikkeling doorgemaakt, en vinden zij, behalve voor verlichting, een zich steeds uitbreidende toepassing op het gebied der radiotechniek en sterkstroomtechniek. Was het oorspronkelijk bij het werken met Geisslersche buizen hoofdzakelijk te doen om het bestudeeren van interessante verschijnselen, in verband met de technische toepassingen is het nu vaak belangrijk, met een buis van gegeven afmetingen een zoo groot mogelijk electrisch vermogen te verwerken. Dit vermogen wordt, evenals bij vrijwel alle electrische machines, begrensd door de in verband met de constructie en de materiaalsoort toelaatbare verwarming. Voorbeelden van hoog belaste ontladingsbuizen zijn in dit tijdschrift herhaaldelijk beschreven, zooals de metalen gelijkrichter met kwikkathode [1]), de hoogedruk-kwiklamp [2]), de watergekoelde zendlampen [3]), enz.

De keuze van het materiaal voor hoog belaste buizen

Het streven naar een maximale belastbaarheid van de buis leidt tot nieuwe gezichtspunten voor de keuze van het materiaal.

De wand van een ontladingsbuis moet volkomen dicht zijn en door deze wand moeten de stroomtoe- en afvoerleidingen zijn aangebracht, zonder dat lekken of gasafgifte kan plaats vinden. Tevens moet de wand geschikt zijn om de electroden onderling te isoleeren. Maar behalve dit vervult de wand nog een andere functie: wordt de buis voor verlichtingsdoeleinden gebruikt, dan moet zij de straling doorlaten, terwijl zij de energie, die in de buis als warmte vrijkomt, door geleiding en straling aan de omgeving moet afstaan. Daardoor is men op het gebruik van glasachtige stoffen voor de wand aangewezen.

Bij de technische ontwikkeling der ontladingsbuizen stuit men, zooals uit het bovenstaande duidelijk is, vooral op beperkingen door het laatste punt. Bij het opvoeren van het vermogen neemt de als warmte gedissipeerde energie ook toe en wordt de wand steeds warmer. Bij gebruik van glazen apparaten wordt het gevaar van week worden of springen van het glas bij groote warmteontwikkeling echter groot, en wil men de energieafgifte per eenheid van oppervlak verkleinen door de ballons grooter te maken, dan wordt de grens van het technisch mogelijke spoedig bereikt, omdat een implosie van groote geevacueerde vaten zeer gevaarlijk is.

Het ligt voor de hand om naar een beter materiaal voor hoog belaste buizen te zoeken en inderdaad beteekent bijv. het toepassen van kwarts, dat pas bij hoogere temperaturen week wordt dan glas, voor hoogedruk-kwiklampen een groote vooruitgang. In het algemeen blijkt echter glas in verband met de bovengenoemde eischen een bij uitstek geschikt materiaal te zijn, dat men alleen op die plaatsen zou willen vermijden, waar de sterkste verwarming optreedt. Kon men bijv. op de plaatsen van grootste warmteontwikkeling het glas door een metaal vervangen, dan was het gevaar van springen en breken vermeden, terwijl de afvoer van warmte door het aanbrengen van een watermantel veel intensiever kan worden gemaakt. Daarenboven is de nauwkeurigheid, waarmede metaal bewerkt kan worden, veel grooter dan de bij glas bereikbare, waardoor de vormgeving en bevestiging van een gedeeltelijk metalen buis veel eenvoudiger is. Het lasschen van glas aan een willekeurig metaal is echter niet zoo eenvoudig; door het verschil in uitzetting springt het glas, indien het op een metaal is aangesmolten, meestal bij het afkoelen. Men kan, om dit te voorkomen, twee wegen inslaan en wel

1) het metaal zoo dun maken, dat het bij het afkoelen plastisch vervormen kan, zonder dat het glas springt,
2) een metaal zoeken, waarvan de uitzetting aan die van het glas aangepast is [4]).

[1]) Een nieuwe metalen ventielbuis met kwikkathode, Philips techn. T. **1**, 65, 1936.

[2]) De kwiklamp HP 300, Philips techn. T. **1**, 129, 1936.

[3]) De ontwikkeling en fabricage der moderne zendlampen, Philips techn. T. **2**, 115, 1937.

[4]) Dit hoeft niet te beteekenen. dat de uitzettingscoëfficiënten precies aan elkaar gelijk moeten zijn. Omgekeerd kunnen ook bij gelijke uitzettingscoëfficiënt verschillen in uitzetting optreden, doordat het metaal en het glas met verschillende snelheid afkoelen. In dit verband is het gewenscht, dat het metaal geen te groote warmtegeleiding heeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Beide methoden worden toegepast; voor de eerste gebruikt men als metaal meestal roodkoper (lineaire uitzettingscoëfficiënt tusschen 0 en 300°C gemiddeld $168 \cdot 10^{-7}$/°C), dat zeer dun moet zijn (ca. 0,1 mm),

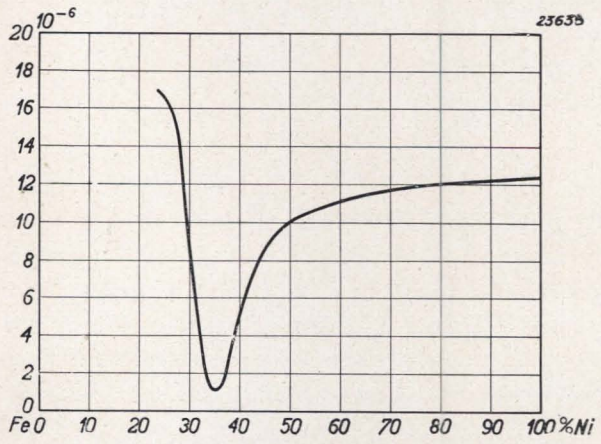


Fig. 1. Uitzettingscoëfficiënt van nikkelijzer bij 20 °C als functie van de samenstelling. Bij ca. 36 % Ni (invar) heeft de u.c. een scherp minimum. Een u.c. van $100 \cdot 10^{-7}$/°C, dus zooals die van gewoon glas, wordt bij ongeveer 50 % Ni bereikt. Volgens Int. Crit. Tables **2**, 465, 1927.

om aan het glas gelascht te kunnen worden. De bewerking is echter vrij lastig en kostbaar door de neiging van het koper tot oxydatie, terwijl een groote sterkte van het dunne materiaal bij de lasch niet verwacht kan worden.

Voor de tweede methode, een metaal, aangepast aan de uitzetting van het glas, zullen we eerst de eischen bespreken, waaraan het metaal moet voldoen. Deze zijn voor het metaal:

1) Gelijkmatige uitzetting over een groot temperatuurgebied, van kamertemperatuur tot boven het verweekingspunt van het glas.
2) Het metaal moet bij het aansmelten voldoende bestendig zijn.
3) Het hechten aan glas moet goed zijn.

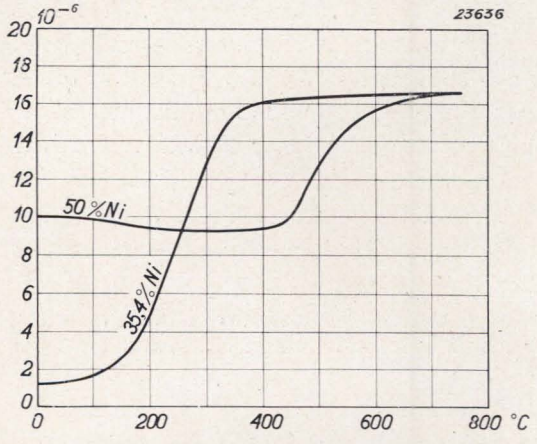


Fig. 2. Uitzettingscoëfficiënt van nikkelijzer als functie van de temperatuur. a) 36 % Ni. De uitzettingscoëfficiënt blijft tot 300 °C zeer laag. b) 50 % Ni. De uitzettingscoëfficiënt verloopt tot 500 °C gelijkmatig. Volgens Int. Crit. Tables **2**, 465, 1927.

4) De gasafgifte moet gering zijn.
5) De prijs moet redelijk zijn.

De beteekenis van deze eischen zal in het volgende kort toegelicht worden.

1) De uitzetting van glas is regelmatig van kamertemperatuur tot aan het verweekingspunt, maar loopt voor de verschillende glassoorten sterk uiteen. Vandaar dat een metaal, dat bruikbaar is om aan normaal kalkglas (uitzettingscoëfficiënt ca. $100 \cdot 10^{-7}$/°C) aangesmolten te worden, niet bruikbaar is voor insmelten in hard glas met een uitzettingscoëfficiënt van 40 tot 50 maal 10^{-7}/°C. De gelijkmatigheid in de uitzetting moet het aan te lasschen metaal over een groot traject hebben, van koud tot het verweekingspunt. Treden in een metaal bij het overschrijden van bepaalde tem-

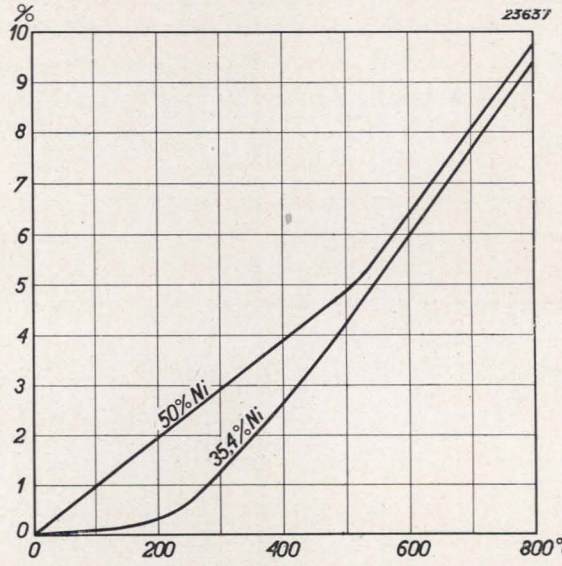


Fig. 3. Lengteverandering als functie van de temperatuur. a) bij 36 % Ni, b) bij 50 % Ni. Volgens Int. Crit. Tables **2**, 465, 1927.

peraturen allotrope omzettingen op, bijv. van α-structuur in γ-structuur, dan gaan deze omzettingen meestal gepaard met volume-veranderingen. Hierdoor ontstaan spanningen in het metaal, die springen van het glas kunnen veroorzaken. Het is dus noodig, een metaal of een legeering te kiezen, die in het temperatuurgebied, waar het glas hard is, geen allotrope omzettingen vertoonen.

2) Het aanlasschen van het glas geschiedt bij hooge temperaturen, waarbij het glas vloeit; hierbij moet het metaal nog niet zacht worden en niet verbranden.

3) Het hechten kan in sommige gevallen door adhaesie alleen reeds voldoende zijn. Het klassieke voorbeeld hiervoor is glas-platina, het metaal blijft bij het insmelten geheel blank en hecht uitstekend. Bij de meeste metalen en legeeringen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

is dit echter niet zoo en bestaat er tusschen het metaal en het glas geen voldoende adhaesie, terwijl tevens het metaal bij het verhitten met

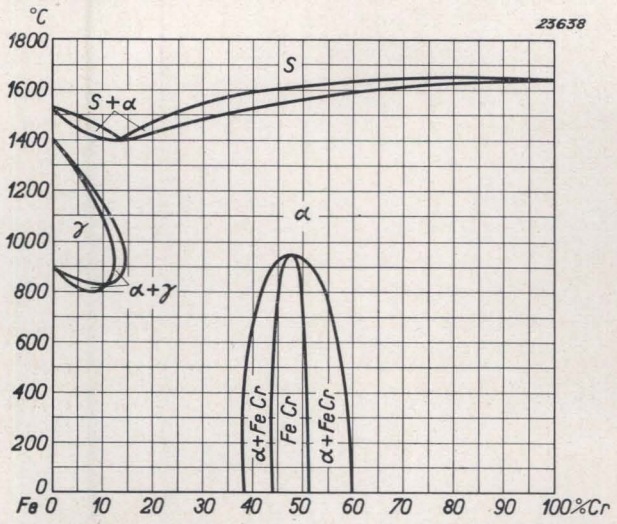


Fig. 4. Het diagram ijzer-chroom. Overgenomen uit: Ed. Houdremont, Einführung in die Sonderstahlkunde, Springer 1935, blz. 182.

een oxydlaag wordt bedekt. Dit laagje kan in sommige gevallen juist een zeer goede hechting bewerkstelligen als het als een tusschenlaag tusschen glas en metaal functionneert. Te eener zijde is het sterk verbonden aan het metaal, aan de andere zijde lost het iets op in het glas onder silicaatvorming en geeft hier een geleidelijke overgang. Is het oxydlaagje echter dik en poreus, of neigt het tot afschilferen, dan spreekt het vanzelf, dat van een gasdichte verbinding niets terecht komt.

4) Bij het lasschen, en ook daarna, mag het

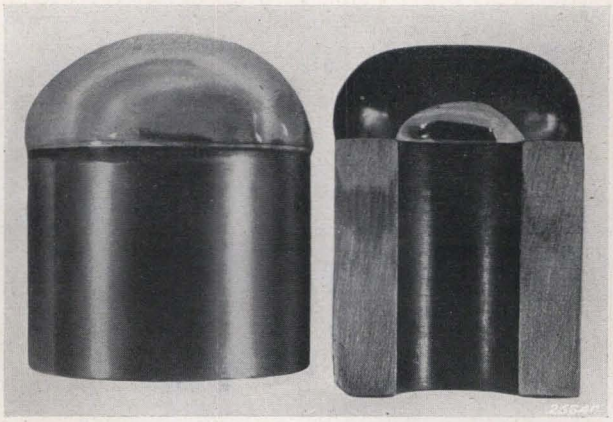


Fig. 5. Voorbeeld ter illustratie van de mogelijkheid dikke chroomijzer-glas-verbindingen te maken.

metaal geen gassen in geadsorbeerde of opgeloste toestand bevatten, die bij de bewerking zouden vrijkomen. Hierdoor zou goed hechten verhinderd worden. Op de grens van het glas en het metaal zouden gasbellen ontstaan, welke aanleiding zouden geven tot lekken.

Maar ook, nadat de lasch gemaakt is, mag er uit het metaal geen gas meer vrijkomen, daar hierdoor het vacuum of de gasatmosfeer in de buis bedorven zou worden.

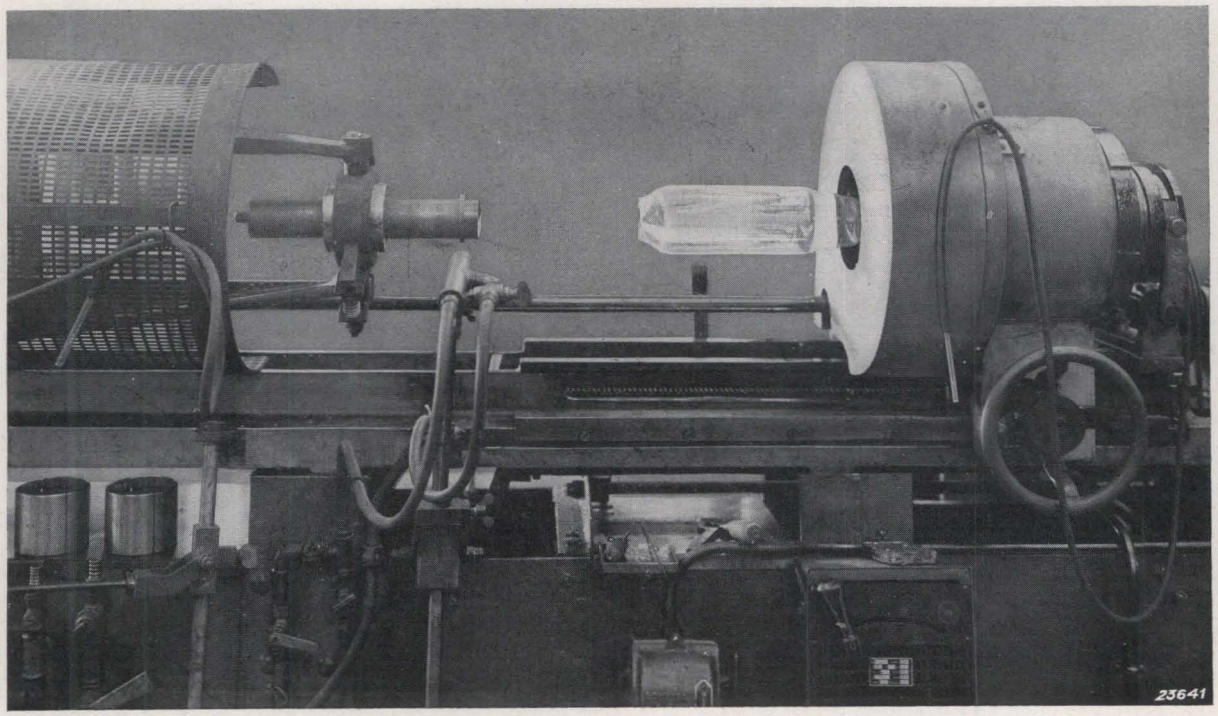


Fig. 6. Chroomijzeren buis met glazen ballon (voor zendlamp) op de aansmeltmachine.

Digitized by www.freeservicemanuals.info
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

5) De hooge kosten kunnen het gebruik van een edelmetaal, zooals platina, in vele gevallen verhinderen.

Gaan we nu na, welke metalen als aansmeltmetalen in aanmerking komen, dan vinden we voor het gebruikelijke glas met een uitzettingscoëfficiënt van 85-100·10^{-7}/°C de volgende mogelijkheden:

Platina,
Nikkelijzer,
Chroomijzer.

Voor hard glas met lagere uitzettingscoëfficiënt zijn andere metalen en legeeringen geschikt, die dan weer aan de uitzetting hiervan zijn aangepast.

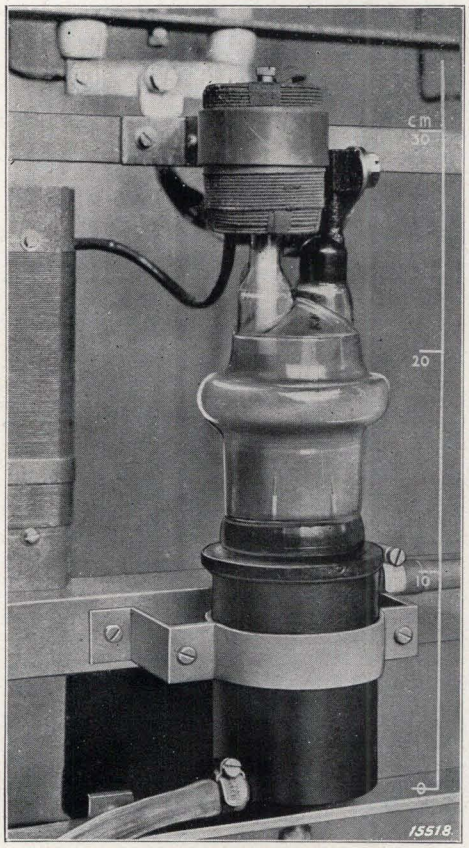


Fig. 7. Een watergekoelde metalen ventielbuis met kwikkathode, nader beschreven in Philips techn. T. 1, 65, 1936. Gemiddelde stroomsterkte 75 A, topstroom 500 A. De chroomijzeren kan is door water gekoeld. Zij bevat een kwikplas en dient als kathode. De glazen bovenhelft is noodig ter isolatie van de hulpanode (boven links) en de hoofdanode (boven rechts), die door middel van een chroomijzeren kapje naar binnen gevoerd is.

Een bespreking hiervan zou ons te ver voeren. Meestal gebruikt men ternaire ijzer-nikkel-cobaltlegeeringen, verder zuiver wolfraam en molybdeen.

Van platina met een lineaire uitzettingscoëfficiënt van 90·10^{-7} is reeds lang bekend, dat het met glas vacuumdichte aansmeltingen kan geven en de eerste gloeilampen hadden dan ook platina-doorvoerdraden. De prijs is echter zoo hoog, dat men dadelijk naar goedkoopere legeeringen ging zoeken en thans heeft de platina-doorvoering alleen nog interesse op het laboratorium, omdat het insmelten ervan zoo eenvoudig is, de draadeinden steeds blank en ductiel zijn en het metaal zoo buitengewoon bestendig is tegen chemische inwerkingen.

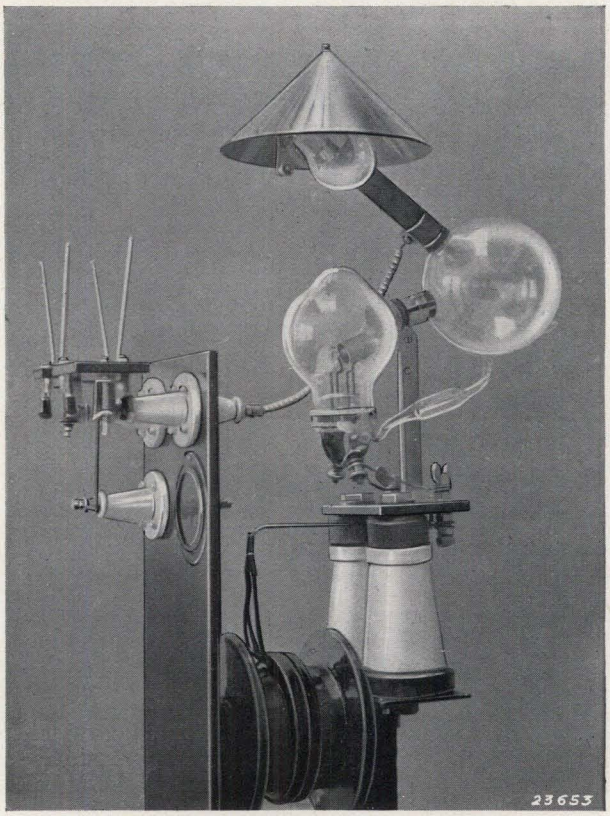


Fig. 8. De gelijkrichtlamp DCG 10/15, voorbeeld van een meer gecompliceerde constructie uit glas en chroomijzer. Onderste ballon: kathoderuimte, bovenste ballon: anoderuimte. De derde ballon dient als condensatie-vat voor het in de onderste ballon verdampende kwik. Hierdoor wordt de kwikdruk bij de anode laag gehouden (weinig terugslag) bij een hooge kwikdruk in de omgeving van de kathode (lage kathodeval). De chroomijzeren buizen dienen als hulp-electroden. Zij moeten op een positieve potentiaal staan om ontsteken mogelijk te maken. Tevens wordt het hierdoor mogelijk de gelijkrichter als relaisbuis te gebruiken.

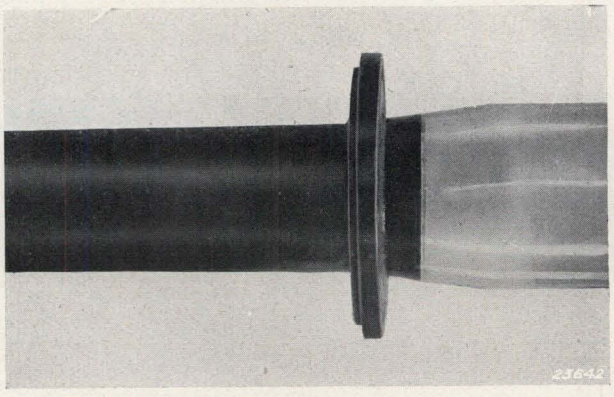


Fig. 9. Anode van een metalen zendlamp met chroomijzer-glas-verbinding.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Van de nikkelijzerlegeeringen is het invar met ca. 36 % nikkel bekend om zijn zeer geringe uitzettingscoëfficiënt. In *fig. 1* en *2* is de uitzettingscoëfficiënt van Fe-Ni-legeeringen als functie van de samenstelling en als functie van de temperatuur weergegeven. Gaan wij een dergelijke legeering verhitten, dan zien we, dat de uitzettingscoëfficiënt tusschen kamertemperatuur en 150 °C practisch gelijk aan nul is, daarboven echter verandert dit en wordt zij veel hooger. Zetten wij de lengteverandering tegen de temperatuur uit (*fig. 3*), dan zien we dus tot 300 ° een horizontale lijn, bij 300 ° een knik omhoog.

Voegen wij nu aan de alliage meer nikkel toe, dan zien we de eerst horizontale lijn oploopen en het knikpunt tevens naar hoogere temperatuurgebieden verschuiven. Een legeering met ca 50 % nikkel heeft tusschen kamertemperatuur en 500 °C een uitzettingscoëfficiënt gelijk aan die van glas, daarboven echter hooger. Dit is echter niet gevaarlijk, daar bij die hooge temperaturen het glas week is en dus niet zal springen.

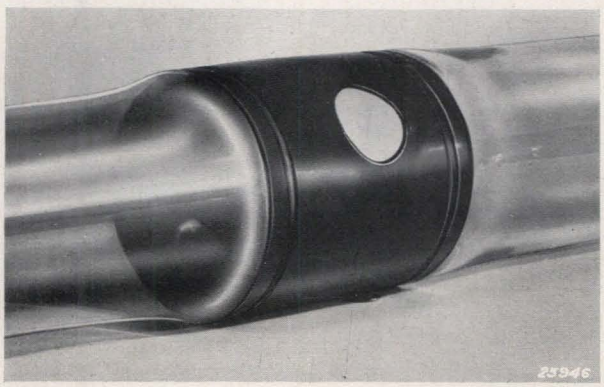


Fig. 11. Het middenstuk van de „Metalix" röntgenbuis bestaat ter afscherming van ongewenschte straling uit chroomijzer. De röntgenstralen treden alleen door het glazen venster uit.

Dit is derhalve, wat de uitzetting betreft, een bruikbare legeering, die dan ook als insmeltdraad voor gloeilampen een zeer ruime toepassing heeft gevonden. Toch heeft zij eenige bezwaren, en wel vóór alles het hechten. Bij het insmelten oxydeert de draad zeer sterk en het oxyd heeft groote neiging tot schilferen, terwijl bovendien het materiaal zeer moeilijk gasvrij is te maken. Het nikkel absorbeert zeer gemakkelijk allerlei gassen (men denke aan het gebruik als katalysator) en deze worden ook weer gemakkelijk afgegeven. Vandaar dat de insmeltdraden dikwijls met een zeer dunne koperlaag worden omgeven (kopermanteldraad), daar het hechten van glas op koper door het koperoxydulelaagje zeer stevig is. Daar koper een veel hoogere uitzettingscoëfficiënt heeft, moet de kopermantel zeer dun zijn, zoodat deze plastisch vervormen kan, zonder dat het glas springt. Voor grootere insmeltstukken komt nikkelijzer dan ook niet in aanmerking.

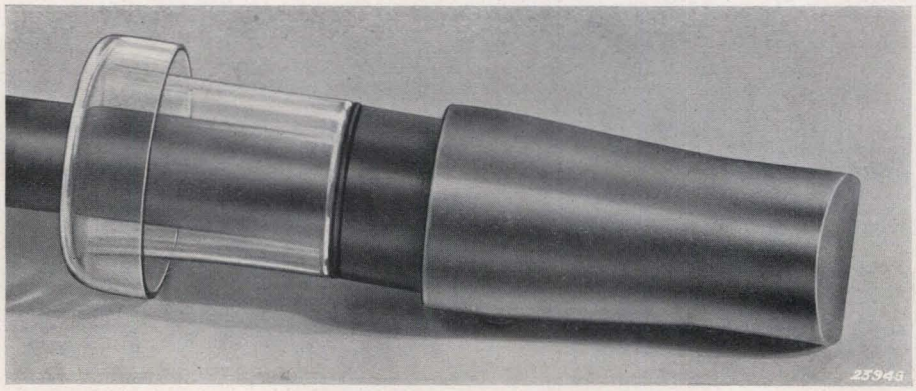


Fig. 10. De zware anode van een „Metalix" röntgenbuis is met een chroomijzeren ring aan het glas verbonden.

Daarentegen heeft juist voor groote insmeltstukken het chroomijzer een uitgebreide toepassing gevonden. Maar voordat wij hierop ingaan willen we eerst het systeem ijzer-chroom bezien. Het diagram van het systeem ijzer-chroom is in *fig. 4* voorgesteld. Wanneer wij zuiver ijzer verwarmen, gaat het bij 906 °C over in een andere modificatie, het γ-ijzer, dat een andere atoomrangschikking heeft dan het α-ijzer [5]), dat beneden deze temperatuur bestendig is.

Bij hoogere verhitting zien we bij 1401 °C het γ-ijzer weer overgaan in α-ijzer, dat identiek is met het beneden 906 ° stabiele α-ijzer. Nog hooger gaande met de temperatuur smelt het α-ijzer bij 1528 °C. Bij afkoeling vinden we bij dezelfde punten weer de overgang, dus smelt, 1528 ° α-ijzer, 1401 ° γ-ijzer, 906 ° α-ijzer. Voegen we nu aan het ijzer

[5]) De atomaire rangschikking voor α- en γ-structuur is afgebeeld in Philips techn. T. **2**, 235, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

chroom toe als legeeringselement, dan zien we deze twee overgangspunten bij stijgend chroomgehalte naar elkaar toekomen, bij ca 15 % chroom komen zij samen. Een legeering met meer dan 15 % chroom, rest ijzer, bestaat dus tusschen kamertemperatuur en smeltpunt alleen uit α-kristallen.

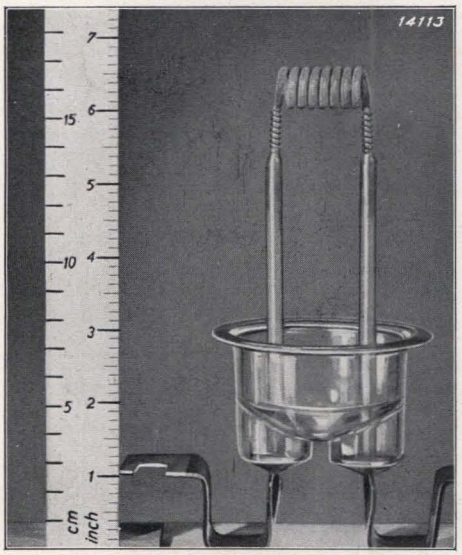


Fig. 12. Eenvoudige doorvoer bij een gelijkrichter, bestaande uit een chroomijzeren plaatje met opgesoldeerde polen aan beide zijden.

Dit wil zeggen, dat de uitzetting door temperatuurverandering geheel gelijkmatig verloopt, zonder de overgangen $\alpha \rightarrow \gamma$, die met sterke volumeveranderingen gepaard gaan. Bovendien ligt de uitzettingscoëfficiënt bij $100 \cdot 10^{-7}$ en is daardoor zeer goed aangepast bij die van glas.

Technische uitvoering van de lasch

De legeering wordt gesmolten in een electrische oven, waarvoor de lichtboogoven zoowel als de modernere hoogfrequentie-oven kan dienen, en uitgegoten in coquilles tot gietblokken. De blokken worden nu gewalst tot staaf of plaat, en hieruit worden de aan glas aan te smelten stukken vervaardigd door draaien, trekken, enz. Dunne plaat kan zeer goed getrokken worden, bij het walsen moeten echter voorzorgen genomen worden, dat het materiaal geen anisotrope textuur krijgt door de sterke koude vervorming, daar dit tot slechte trekresultaten voert [5]).

Het chroomijzer is aan de lucht behoorlijk bestendig. Deze bestendigheid wordt toegeschreven aan de vorming van een uiterst dun laagje oxyde, dat het oppervlak geheel bedekt en afsluit van verdere inwerking der atmosfeer. Verschillende chroomlegeeringen worden dan ook als roestvrije staalsoorten in den handel gebracht. In ons geval vormt het oxydlaagje een verbindingsstof tusschen glas en metaal en wordt het in de voor goed hechten verlangde dikte verkregen door het chroomijzer direct vóór het aansmelten met de vlam voor te verhitten.

Fig. 5 laat zien, dat ook dikke stukken van glas en chroomijzer uitstekend aan elkaar hechten. Dat dergelijke aansmeltingen met chroomijzer uitvoerbaar zijn is o.m. te danken aan het feit, dat de warmtegeleiding van deze legeering zeer klein is.

Voor het aanlasschen van groote stukken is een speciale draaibank gemaakt (*fig. 6*) met twee klauwplaten, die naar elkaar toegekeerd zijn. In de eene klauw wordt het chroomijzer in buisvorm ingespannen, in de andere het glazen onderdeel. Terwijl beide draaien, wordt nu eerst de chroomijzerrand verhit en geoxydeerd, waarna uit de hand een dun glaslaagje op die rand gebracht wordt door het afsmelten van een dun glazen staafje. Vervolgens wordt ook de rand van het aan te lasschen stuk glas op temperatuur gebracht en dan worden de twee klauwen al draaiende naar elkaar toegebracht, waarop de glasverbinding als een normale stompe glaslasch door aaneensmelten verkregen wordt. De rand van de chroomijzeren buis hoeft bij het boven beschreven procédé niet scherp en zelfs niet dun te zijn, wat de sterkte van de glas-

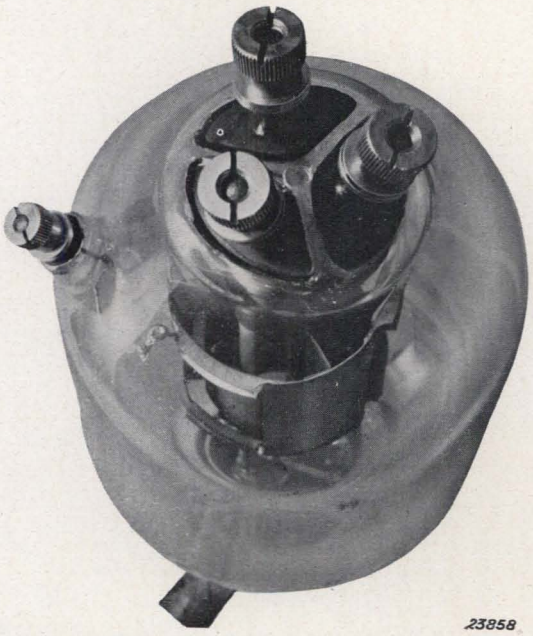


Fig. 13. Drie electroden van een gelijkrichtlamp worden met behulp van sectorvormige chroomijzeren platen door de buis gevoerd. De drie platen worden eerst met een glazen rand aan elkaar gelascht tot een cirkelvormige plaat en dan versmolten met de cirkelvormige opening van de gelijkrichterballon.

[5]) Over het trekken van chroomijzeren dopjes zie Philips techn. T. **2**, 158, 1937 (Voorbeeld **23** voor röntgenografisch materiaalonderzoek).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

metaalverbinding zeer ten goede komt. In dit opzicht onderscheidt zich chroomijzer voordeelig van alle andere gebruikelijke aansmeltlegeeringen, die alleen in de vorm van dunne scherp uitloopende randen met het glas kunnen worden samen gesmolten.

De *figuren 7* en *8* laten twee belangrijke voorbeelden van de stompe glas-chroomijzerlasch zien, bij de constructie van groote gelijkrichters.

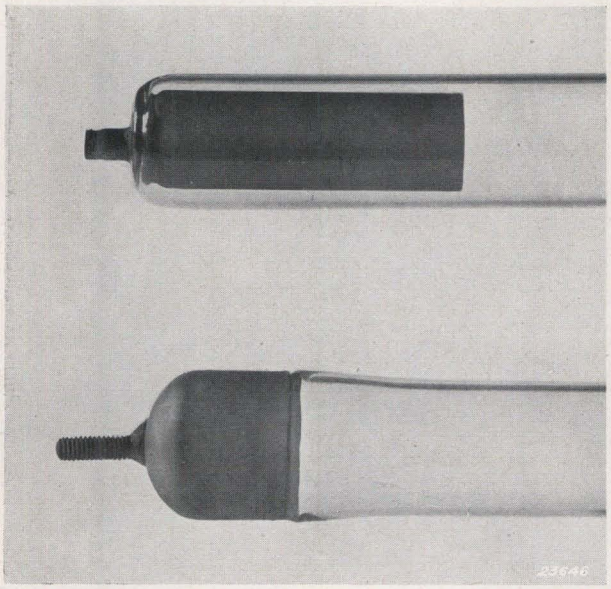


Fig. 14. Het gebruik van chroomijzeren anoden in neonbuizen leidt tot zeer eenvoudige constructies.

Bij de groote watergekoelde zendlampen bestaat de aansmeltring, waaraan het glas gesmolten wordt, uit chroomijzer (*fig. 9*), deze ring is vastgesoldeerd aan een roodkoperen buis, die door water wordt gekoeld. De warmtegeleiding van koper is veel beter dan die van chroomijzer, zoodat op deze wijze meer warmte kan worden afgevoerd. Iets dergelijks zien we bij de anoden van röntgenbuizen (*fig. 10*), waarvan wordt geëischt, dat zij de warmte zeer goed geleiden. Daarom bestaat deze uit een blok roodkoper, dat samen gesmolten wordt met een chroomijzeren ring, die dan met het vrije uiteinde aan het glas wordt verbonden. Ook de middenstukken der Philips „Metalix" röntgenbuizen zijn van chroomijzer (*fig. 11*), waarin een venster tot het doorlaten der stralenbundel in een uitsparing is ingesmolten, wat bij andere metalen dan chroomijzer niet gemakkelijk zal zijn. Aan dit metalen middenstuk wordt de buis in het apparaat bevestigd.

Gaat het er om, stroomtoevoerdraden te maken, dan kan men voor zeer groote stroomsterkten een chroomijzeren kapje nemen met gedraaide rand, waaraan op de beschreven wijze een glazen buis kan worden gelascht. Het kapje wordt nu voorzien van een toevoerdraad in het midden aan de binnenzijde, die daaraan gesoldeerd wordt en van een tweede aan de buitenzijde, waarna het geheel aan de glazen buis gesmolten kan worden. Voor kleinere stroomsterkten, bijv. bij de in *fig. 12* weergegeven gelijkrichter kan volstaan worden met een chroomijzeren plaatje, dat aan beide zijden van toevoerleidingen is voorzien en dat aan de rand met glas bedekt wordt, waarna het aan de glazen buis gesmolten wordt. Van zulke plaatjes kunnen meerdere tezamen tot een „brugje" worden vereenigd, dat dan in zijn geheel na montage aan de gelijkrichterballon wordt gesmolten. Hiervan geeft *fig. 13* een voorbeeld.

Een ander voorbeeld zien we bij de electroden in neonbuizen (*fig. 14*), waarbij een licht busje van chroomijzer, dat als electrode dient, met zijn achterzijde of met zijn voorzijde direct aan de rand van glas is gesmolten, zoodat aan de bodem direct de stroomtoevoer van buiten kan plaats vinden.

Voor verdere technische toepassingen zij nog gewezen op de mogelijkheid, kijkglazen in druk- of vacuumketels aan te brengen en op het gebruik van glazen verbindingsstukken aan metalen reactievaten, terwijl de speciale toepassing voor telescoopspiegels [6]) reeds eerder vermeld is.

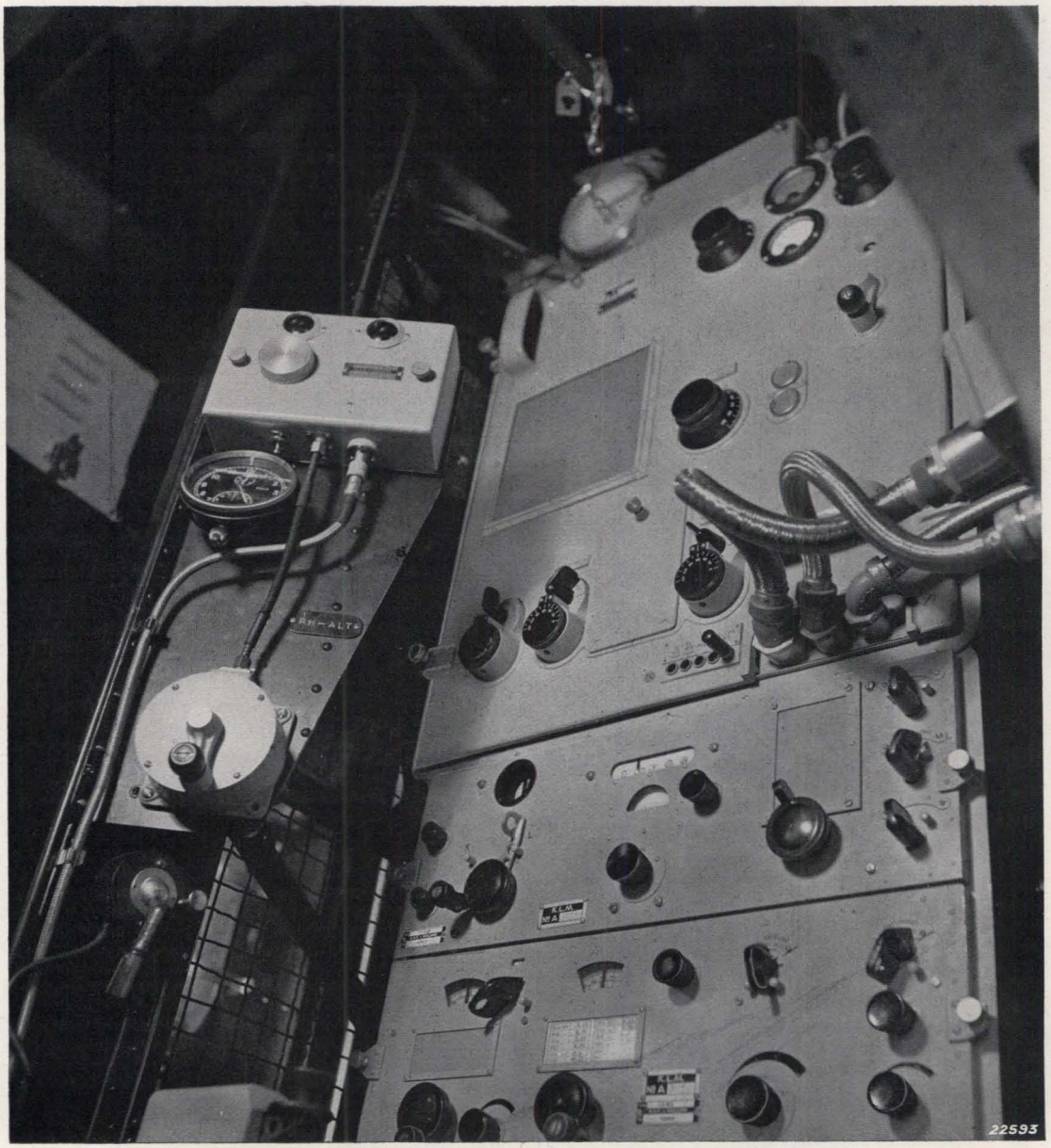
[6]) Telescoopspiegels, Philips techn. T. **1**, 362, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

ZENDER EN ONTVANGER V.R. 35 MET AANVLIEGPEILER V.P.K. 35.



Zend- en ontvanginstallatie V.R. 35 aan boord van een Douglas vliegtuig, gecombineerd met de aanvliegpeiler V.P.K. 35, die op p. 184 - 190 van deze jaargang werd beschreven. Het driedeelige schakelbord bevat van boven naar beneden: de zender, de aanvliegpeiler en de ontvanger. Links naast de ontvanger is de Morsesleutel. De kruk links naast de aanvliegpeiler bedient de raamantenne; op het ronde venster in het kastje boven de kruk is haar stand af te lezen. De installatie staat achter de rug van de piloot. De marconist zit op zij, zoodat hij de schakelborden rechts naast zich heeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

HET ONDERZOEK VAN DE MACRO-STRUCTUUR VAN GRONDSTOFFEN EN PRODUCTEN MET BEHULP VAN RÖNTGENSTRALEN. I

door J. E. DE GRAAF.

Samenvatting. De grondslagen, die voor de keuring van grondstoffen en producten met behulp van röntgenstralen volgens de absorptiemethode van belang zijn, worden uiteengezet. In een aantal korte artikelen zal op de practische toepassing en de resultaten van deze methode nader worden ingegaan.

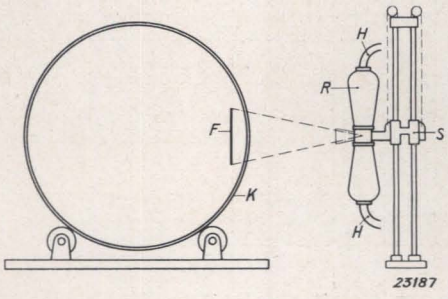
Inleiding

Bij het toepassen van röntgenstralen voor het onderzoeken van technische materialen onderscheidt men in de techniek twee groote gebieden:

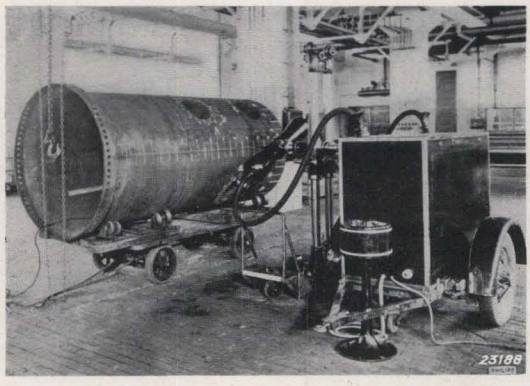
1) Het onderzoeken van de structuur en textuur van kristallen (micro-structuur) met behulp van de interferentie der röntgenstralen aan de oppervlakken der kristallen [1]). De röntgenstralen, die de foto leveren, zijn niet de directe stralen uit de röntgenbuis, maar afgebogen stralen. Men gebruikt hierbij röntgenstralen met vrij groote golflengte (1 à 2 Å; 1 Ångström $= 10^{-8}$ cm) die weinig in het te onderzoeken voorwerp kunnen binnendringen. De microstructuur aan het oppervlak van dit voorwerp wordt dus onderzocht.
2) Het opsporen van holten, scheuren enz., kortom fouten die men zou kunnen waarnemen met het bloote oog, indien men het werkstuk op de juiste plaats doorsneed (macro-structuur). De directe stralen, die in dit geval van zeer kleine golflengte zijn (bijv. 0,1 Å), gaan eerst (*fig. 1*) door het te onderzoeken voorwerp, waarin zij in meerdere of mindere mate worden geabsorbeerd, waarna zij volgens een film in mindere of meerdere mate zwarten.

Voor homogeen materiaal is de absorptie van röntgenstralen overal dezelfde; door afwijking van de homogeniteit, bijv. insluitingen van slakken, kan die verzwakking plaatselijk anders zijn. Op de film, die men wegens haar onbreekbaarheid boven de fotografische plaat verkiest, en die aan weerskanten is voorzien van een gevoelige laag, ontstaat dan een afbeelding van het voorwerp, waarop macro-fouten min of meer duidelijk zijn te zien. Op deze wijze wordt dus het geheele volume van het werkstuk onderzocht en niet uitsluitend de oppervlakte-laag.

Aangezien de zwarting van de röntgenfilm afhangt van de absorptie der röntgenstralen in die film en deze absorptie klein is, worden de belichtingstijden voor een foto van voldoende zwarting zeer groot. De fotografische werking versterkt men daarom bijna altijd door onmiddellijk tegen de film een



a



b

Fig. 1. *a* Schema van het röntgenonderzoek van een ketelwand volgens de absorptiemethode. *F* film, *K* ketel, *H* hoogspanningskabel, *R* röntgenbuis en *S* statief. *b* Foto van dit onderzoek.

versterkingsscherm te leggen, dat onder inwerking der röntgenstralen gaat fluoresceeren. Dit scherm is meestal met een laag calciumwolframaat bedekt. Het fluorescentielicht hiervan draagt belangrijk bij tot het zwarten van de film; de intensiteit van dit licht is met de hoeveelheid opvallende straling evenredig. De „versterking" door een dergelijk scherm kan bijv. dertigvoudig zijn.

Invloed van dikte en aard van het materiaal

Gaan we eerst (*fig. 2*) de invloed na van de verzwakkende materiaaldikte bij overigens gelijke

[1]) Dit werd behandeld in de in het Aug.-no. van dit tijdschrift beëindigde artikelenserie: „Practische toepassingen van röntgenografisch materiaalonderzoek," door W. G. Burgers.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

condities van belichtingstijd, afstand van de film tot de röntgenbuis enz., dan zien we een verzwakking, die zeer snel met de dikte toeneemt.

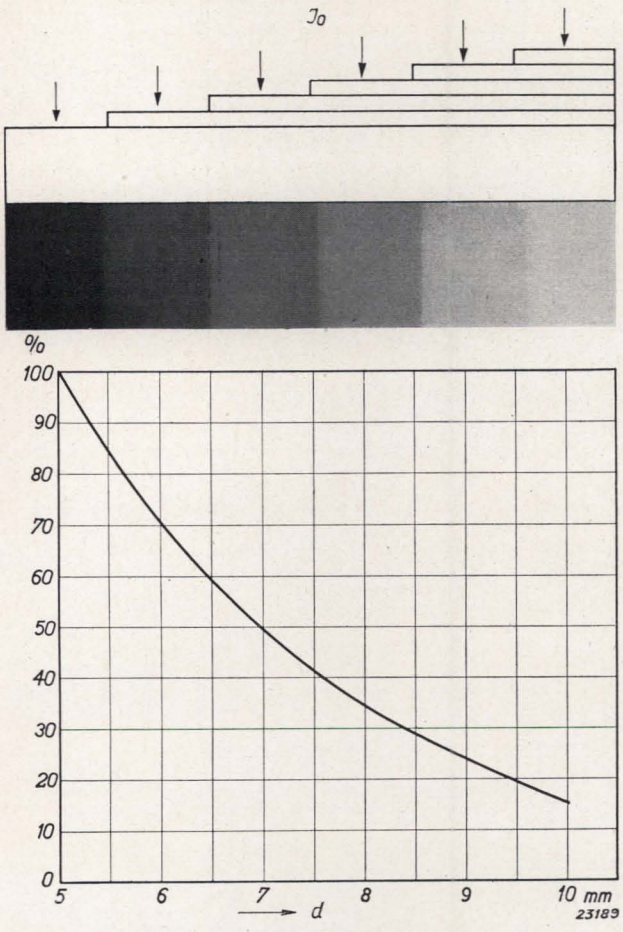


Fig. 2. Verzwakking van een röntgenbundel door verschillende dikten van een zelfde materiaal. Daarvoor werd genomen een ijzerplaatje van 5 mm dikte, waarop telkens 1 mm ijzer meer werd gelegd.

Het blijkt, dat in eerste benadering eenzelfde materiaaldikte, toegevoegd aan een andere materiaallaag, steeds eenzelfde percentage van de uit deze laag tredende straling wegneemt, van welke (mits niet te geringe) dikte deze laag ook is. Exact geldt dit exponentieele toenemen der verzwakking eigenlijk alleen voor monochromatische straling, dus straling van één golflengte. Voor het continue spectrum, dat een röntgenbuis uitzendt, geldt het echter met des te betere benadering naarmate de doorloopen materiaaldikte grooter is, daar de lange golven veel sterker worden verzwakt dan de korte golven, waardoor de straling homogener wordt.

Bij gelijke materiaaldikte maakt het dan echter nog een groot verschil uit, van welk materiaal het onderzochte voorwerp vervaardigd is. Van de (*fig. 3*) gelijktijdig gefotografeerde, even dikke, plaatjes van lood, tin, ijzer en aluminium, is het aluminiumplaatje niet zichtbaar, omdat het niet merkbaar geabsorbeerd heeft. Achter het loodplaatje echter is de film vrijwel helder gebleven, hetgeen dus beteekent, dat het lood bijna alle straling heeft

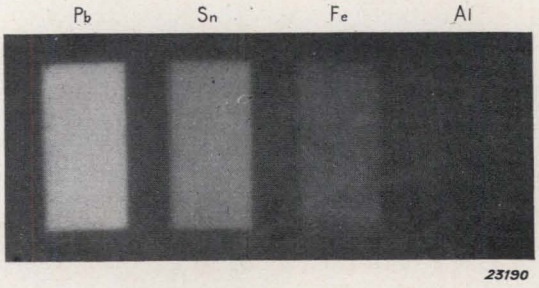


Fig. 3. Verzwakking van een röntgenbundel door een zelfde dikte (0,2 mm) van verschillende metalen: lood (atoomgewicht 207), tin (119), ijzer (56) en aluminium (27) op een ijzeren plaat van 10 mm dikte. Belichtingstijd drie min., buisspanning 100 kV, stroomsterkte 4 mA. Het aluminium is door het te geringe contrast vrijwel onzichtbaar.

geabsorbeerd. Men kan deze resultaten ten ruwste zóó samenvatten, dat met toenemend atoomgewicht de stoffen steeds sterker gaan absorbeeren. Dit beteekent dus, dat voor eenzelfde absorptie een aanzienlijk grootere dikte noodig is van aluminium dan van ijzer. Of omgekeerd: dat men onder dezelfde omstandigheden aanzienlijk grootere dikten bij aluminium kan doorstralen en onderzoeken dan bij ijzer.

Gassen absorbeeren, zelfs ten opzichte van aluminium, niet merkbaar. Een met gas gevulde gietholte zal dus niet anders afgebeeld worden, dan wanneer zij geheel leeg is. Ook als een holte met slak gevuld is, zal dit lang niet altijd in het veroorzaakte zwartingsverschil tot uitdrukking komen. Hoe sterker het metaal zelf absorbeert, en hoe meer gasbellen de slak bevat, hoe minder verschil men tusschen een met slak en een met gas gevulde holte kan zien. In dergelijke gevallen moet men andere bijzonderheden, als vorm en ligging, te baat nemen, om iets van de ontstaanswijze van de holte te kunnen zeggen.

Aan de andere kant worden grootere verschillen in absorptievermogen, zooals die bijv. tusschen de metalen verbindingsdraden en het „Philite" in de voet van de radiolamp van *fig. 4* bestaan, met groote duidelijkheid weergeven. Voor het controleeren van montagewerk heeft dit natuurlijk vele toepassingsmogelijkheden geopend. Deze foto toont tevens heel duidelijk, hoe scherp fijne onderdeelen (dunne draadjes) met behulp van röntgenstralen kunnen worden afgebeeld.

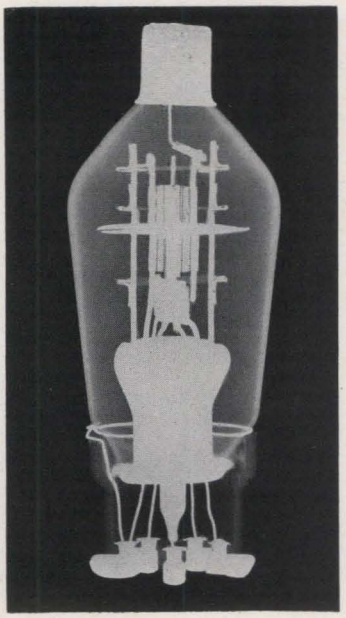
Invloed van de buisspanning

Een derde belangrijke factor bij het opsporen van materiaalfouten is naast dikte en aard van het materiaal de invloed van de spanning tusschen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

de anode en de kathode van de röntgenbuis. Hoe hooger die spanning is, hoe kortere golflengten in het spectrum voorkomen en hoe minder de straling geabsorbeerd wordt. Daar bovendien



23191

Fig. 4. Röntgenfoto van een radiolamp ter controle van de montage. Binnen de optisch ondoorzichtige „Philite" huls ziet men stroom- en spanningstoevoerdraden. Binnen de lamp in het „voetje" en de „kneep" zijn deze draden niet meer zichtbaar. Het glas van deze is sterk loodhoudend (30 %) en de contrastwerking door de toch vrij dikke toevoerdraden verdwijnt. De montage is echter goed te overzien.

met toenemende spanning het rendement van de röntgenbuis toeneemt, zal dus de door een zekere materiaaldikte dringende straling en ook de door haar opgewekte zwarting van de fotografische plaat met toenemende buisspanning snel toenemen (*fig 5*). Dit beteekent weer, dat men van een bepaalde

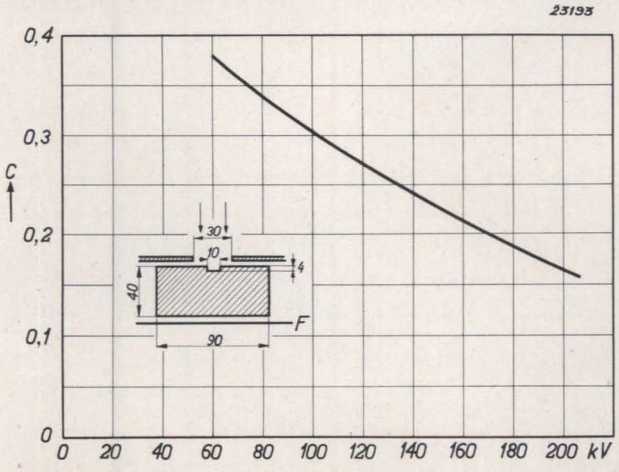


Fig. 6. Contrast *C*, veroorzaakt door een gat in een aluminium blok, waarvan de maten in mm zijn aangegeven bij röntgenfoto's opgenomen bij verschillende spanningen. Op het aluminium ligt een diafragma van lood om het veld te begrenzen.

materiaaldikte een voldoend zwarte foto krijgt in des te korter tijd, naarmate de buisspanning hooger genomen wordt. Toch is het onjuist om hieruit de conclusie te trekken, dat men daarom steeds zoo hoog mogelijke spanningen moet gebruiken. In *fig. 6* is het zwartingsverschil (het contrast) weergegeven, dat door een gat in een blok aluminium wordt veroorzaakt, als men dit blok bij verschillende spanningen zoo fotografeert, dat de grondzwartingen gelijk blijven. Tusschen 75 en

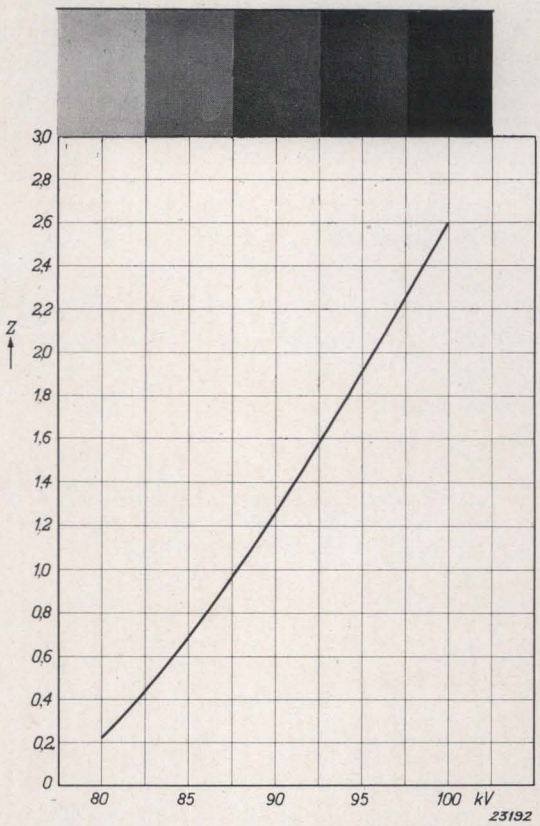


Fig. 5. Zwarting *Z* tengevolge van röntgenbundels met verschillende buisspanningen *V* bij een stroomsterkte van 4 mA met een belichtingstijd van 75 sec, achter 5 mm ijzer. In de graphiek is *Z* voorgesteld in afhankelijkheid van *V*.

200 kV buisspanning blijkt dit contrast ongeveer met een factor 2 te dalen, hetgeen een gevolg is van het afnemen van de absorptie bij toenemende buisspanning waardoor eenzelfde dikteverschil bij hoogere spanning minder contrast levert. Deze daling mag op zichzelf nog klein lijken, toch zal men steeds een vrij sterke invloed vinden van de spanning op de zichtbaarheid van fijne details, omdat juist bij fijne details, die op de grens van de zichtbaarheid liggen, een kleine contrastverandering reeds van groote invloed is. Deze afhankelijkheid maakt het van belang, de grens der zichtbaarheid op iedere foto vast te leggen, bijv. door aanduiding van het nog juist onderscheidbare dikteverschil. Men past daarvoor zeer geschikt toe een raampje met draden van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

verschillende dikte, die gemaakt zijn van het materiaal, waaruit het werkstuk bestaat. Dit raampje wordt meegefotografeerd. De dikte van het nog juist herkenbare draadje moet dan aan bepaalde voorwaarden voldoen: zoo mag het bij werkstukdikten tot 50 mm hoogstens $1^1/_2\,^0/_0$ van deze dikte uitmaken. Daarmede controleert men tevens de donkere kamer techniek, want daar kunnen wanneer onvoldoende zorg aan het werk besteed wordt, op zichzelf goed genomen foto's tot weinig contrastrijke afbeeldingen worden verknoeid.

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn geworden, dat iedere röntgenfoto voor materiaalonderzoek een compromis is tusschen de wenschen naar korte belichtingstijd en naar duidelijke detailonderscheiding. Men kiest nu in den regel belichtingstijden van een of enkele minuten (zóó, dat de tijden voor belichting klein zijn ten opzichte van die voor verwisseling van films en instellen van de buis samen). De bij een zekere materiaaldikte benoodigde spanning voor een foto met dusdanig gekozen belichtingstijd, ontleent men aan belichtingsgrafieken, zooals in *fig.* 7 er een voor ijzer is weergegeven.

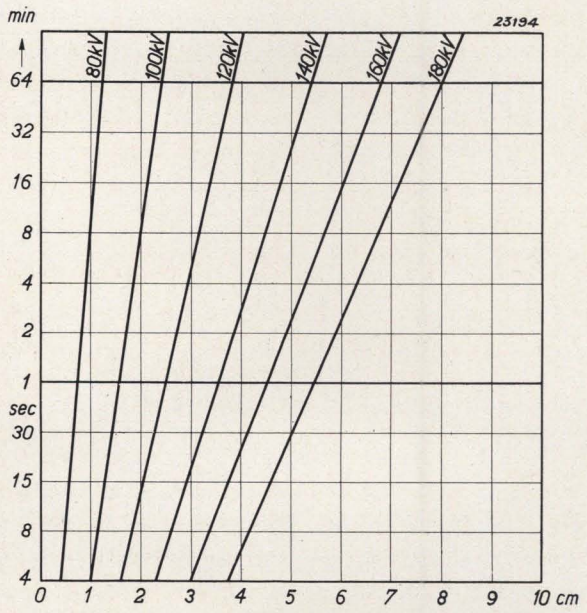


Fig. 7. Belichtingsgrafiek voor ijzer met versterkingsscherm en Agfa Spezialfilm. Horizontaal is de dikte van het ijzer, verticaal de belichtingstijd uitgezet. De getrokken lijnen geven het verband tusschen beide bij een constante zwarting $Z = 0{,}5$ met de buisspanning als parameter, stroomsterkte 4 mA; afstand tusschen focus en film 40 cm, veld 4×4 cm².

Visueele waarneming

Naast de fotografische methode is het mogelijk om directe visueele waarneming toe te passen met behulp van fluorescentieschermen. Plaatst men deze daar waar de film anders staat dan kan men op deze schermen het fluorescentiebeeld met het oog waarnemen. De door het werkstuk doorgelaten straling moet daartoe echter niet al te zwak zijn, dit wil zeggen, dat de voorwerpen niet te zwaar en niet te dik mogen zijn. Voor ijzer kan men bijv. met visueel onderzoek niet verder dan tot stukken van omstreeks 20 mm dikte komen. Daar bij het fluorescentieonderzoek de contrasten geringer zijn dan bij de fotografische methode en er tevens de documentatie bij ontbreekt, wordt de (op zichzelf goedkoopere en snellere) fluorescentie-methode voor belangrijke keuringen weinig toegepast. Voor het onderzoek van technisch minder belangrijke onderdeelen is de visueele waarneming meer gewenscht, omdat deze onderdeelen als regel veel goedkooper zullen zijn dan de belangrijke, en dus een goedkoopere onderzoekingsmethode vereischen.

Beteekenis van de absorptiemethode

Wanneer nu op een röntgenfoto alle dichtheids- en dikteverschillen van het te onderzoeken voorwerp min of meer duidelijk afgebeeld worden, kan men de röntgenfoto ook gebruiken om ongewenschte verschillen, dus fouten, op te sporen. De waarde van deze röntgenopsporingsmethode is hier tweeërlei: ten eerste geeft de foto (in tegenstelling tot de doorsnede op één plaats) direct een gedetailleerd overzicht van de fouten en van hun samenhang en ten tweede wordt het voorwerp niet opgeofferd aan het onderzoek, hetgeen omgekeerd beteekent, dat men alle voorwerpen wier belangrijkheid dat gewenscht maakt, kan onderzoeken. Het eerste is niet alleen van beteekenis bij de ontwikkeling van nieuwe fabricagewijzen in gieterijen en dergelijke, waarbij men een onmiddellijk belang heeft bij een diagnose van de oorzaak van de fout, maar ook bij de keuring van een productie, omdat uit de eenmaal bekende oorzaak der fout heel vaak qualitatieve conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van de sterktevermindering door niet direct waarneembare factoren zooals veranderde structuren. Zoo is de diagnose van laschfouten van essentieele beteekenis voor de keuring van gelaschte ketels en constructies.

Wij stellen ons voor in een reeks korte artikelen verschillende voorbeelden van het toepassen van het doorstralen met röntgenstralen voor het opsporen van materiaalfouten nader te behandelen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

No. 1199*: R. Houwink und K. H. Klaassens: Die Viskositäts-Konzentrationsabhängigkeit in konzentrierter Lösung und ihre energetische Deutung (Koll. Z. **79,** 138 - 148, Mei 1937).

Het op p. 32 van deze jaargang gerefereerde artikel **No. 1130** van deze schrijvers gaf aanleiding tot een nauwere samenwerking met H. L. Bredée en J. de Booys betreffende de wijze, waarop de viscositeit van colloïdale oplossingen afhangt van hun concentratie en van de grootte der deeltjes.

Aansluitend bij twee artikelen van Bredée en de Booys (Koll. Z. **79,** 31 en 43, 1937) wordt nu in dit artikel een empirische formule gegeven, die voor zeer verschillende stoffen en concentraties de viscositeit goed weergeeft en voor kleine concentraties overgaat in de formule van Einstein.

De verhooging van de viscositeit door gedispergeerde deeltjes valt uiteen in twee factoren, die bepaald worden door de vorm der deeltjes, resp. door de ruimte, die de deeltjes innemen. Langere deeltjes blijken de viscositeit van geconcentreerde oplossingen relatief minder te verhoogen dan kortere en vooral minder dan ronde deeltjes. Men kan dit toeschrijven aan het verschil in verandering der energiedissipatie met de concentratie tusschen lange deeltjes en ronde.

No. 1200: J. A. M. van Liempt und J. A. de Vriend: Über das Verbrennungslicht von Al - Zn - and Al - Cd -Legierungen (Rec. Trav. chim. Pays Bas **56,** 594 - 598, Mei 1937).

Door zink of cadmium aan aluminium toe te voegen, verhoogt men de brandbaarheid hiervan in zuurstof aanmerkelijk. De verbrandingssnelheid en de lichtopbrengst worden belangrijk grooter, zonder dat daarbij de kleur van het licht noemenswaardig verandert.

No. 1201: J. A. M. van Liempt und J. H. M. van Uden: Der photographische Nachweis von Thoriumoxyd in Glühdrähten (Rec. Trav. chim. Pays Bas **56,** 607 - 612, Mei 1937).

De aanwezigheid van thoriumoxyde in wolfraamgloeidraden kan worden aangetoond met behulp van de zwarting van de fotografische plaat, die door de radioactieve straling van het thorium wordt veroorzaakt. Schumannplaten zijn het geschiktste om op deze wijze thoriumoxyde aan te toonen, daarna volgen de gevoeligste gewone platen. De gevoeligheid dezer methoden neemt toe met de draaddikte, met de inwerkingstijd en met de vochtigheid van de lucht. Getrokken draden leveren een grootere zwarting dan gekristalliseerde en éénkristaldraden. Zuiver thoriumdraad geeft een zeer sterke zwarting.

No. 1202: F. A. Heyn: De techniek der kerntransformaties (Ingenieur **52,** E 51 - 56, Mei 1937).

In deze voordracht werd een algemeen overzicht gegeven van de wijzen, waarop men kerntransformaties kan bewerkstelligen. Eerst wordt beschreven, hoe kerntransformaties tot stand worden gebracht met behulp van α-deeltjes en de daarmede gemaakte neutronen. Daarna wordt behandeld, hoe kerntransformaties kunnen worden uitgevoerd door deeltjes, die men groote potentiaalverschillen heeft laten doorloopen, of wel eenzelfde vrij klein potentiaalverschil meerdere malen achtereen. De verschillende methoden, volgens welke men hooge spanningen kan opwekken, worden nader toegelicht.

No. 1203: W. de Groot: Interpretatie van moleculaire verschijnselen door middel van potentiaal-krommen. I. Potentiaalkrommen van het twee-atomige molecuul. (Ned. T. Natuurk. **4,** 109 - 119, Mei 1937).

Eenige eigenschappen van potentiaalkrommen, zooals die in 1925 door Franck zijn ingevoerd, worden in dit en eenige volgende artikelen nader toegelicht aan de hand van bijzondere problemen uit de molecuulphysica, o.a. praedissociatie en foto-ionisatie.

No. 1204: W. Elenbaas: Die Gesamtstrahlung der Quecksilberhochdruckentladung als Funktion der Leistung, des Druckmessers und des Druckes. (Physica **4,** 413 - 417, Juni 1937).

Bij verschillende drukken (0,1 tot 25 atm) en vermogens L per cm buislengte (8 tot 75 W/cm) werd de totale straling van de hoogedruk-kwikontlading gemeten voor buisdiameters d van 3,3 mm,

*) Van publicaties gemerkt met een * is geen voor verspreiding voldoend aantal overdrukken beschikbaar. Van de andere publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvraag gaarne overdrukken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

9,2 mm en 27 mm. Voor vermogens grooter dan 20 W/cm en drukken boven $10/d$ atm is de totale straling gelijk aan 0,72 $(L - 10)$ W/cm.

No. 1205: J. F. H. Custers: The ultraviolet absorption spectrum of potassium perrhenate (Physica **4**, 426 - 429, Juni 1937).

Voor verschillende concentraties van een oplossing van kaliumperrhenaat in water is het absorptiespectrum tusschen 3134 en 2210 Å gemeten. Bij ongeveer 3150 Å wordt de absorptie merkbaar; bij 2290 Å ligt een sterke en bij 2390 Å een nauwelijks uitgesproken absorptiemaximum. De absorptiespectra van het permanganaat- en het perrrhenaat-ion worden met elkaar vergeleken.

No. 1206: A. A. Kruithof and F. M. Penning: Determination of the Townsend ionization coefficient α for mixtures of neon and argon (Physica **4**, 430 - 449, Juni 1937).

Voor zuiver neon en voor acht verschillende mengels van neon en argon werd de ionisatiecoëfficiënt α bepaald als functie van het quotiënt van de veldsterkte E in V per cm en de druk p_0 in mm kwik (gereduceerd op °C). De uitkomsten stemmen overeen met de resultaten van vroeger verrichte bepalingen der ionisatie uit de ontsteekspanning van de glimontlading. De sterkste ionisatie, overeenkomende met een verdubbeling van het aantal electronen bij het doorloopen van een spanning van 18,7 V, werd gevonden in neon met 0,1 % argon bij $E/p_0 = 3$ V per cm per mm kwikdruk. Wordt het quotiënt E/p_0 kleiner, dan daalt de ionisatiecoëfficiënt sterk als gevolg van de energieverliezen der electronen bij elastische botsingen met de atomen van het gas.

Daar volgens vroegere publicaties de foto-electrische stroom bij constante veldsterkte min of meer trapsgewijze toeneemt, werd bijzondere aandacht besteed aan een nauwkeurige bepaling van de stroom als functie van de afstand der electroden.

No. 1207: A. A. Kruithof and M. J. Druyvesteyn: The Townsend ionization coefficient α and some elementary processes in neon with small admixtures of argon. (Physica **4**, 450 - 463, Juni 1937).

Uit de ionisatiecoëfficiënt α van Townsend is op twee verschillende wijzen de waarschijnlijkheid χ berekend, dat een aangeslagen neonatoom een argonatoom ioniseert:

a) uitgaande van de waarschijnlijkheid, dat een neonatoom bij een botsing door een electron wordt aangeslagen, b) uitgaande van de in **No. 1206** beschreven metingen, waarbij de gemiddelde ionisatie gemeten werd in afhankelijkheid van de afstand tot de kathode. Uit de wijze, waarop χ van het percentage argon afhangt, volgt, dat bijna 90 % der aanslagen van het neon een metastabiel atoom leveren voor het geval, dat het quotiënt van de veldsterkte in V per cm en de druk in millimeters kleiner dan 3,5 is.

No. 1208: M. J. Druyvesteyn: The mobility of electrons in neon (Physica **4**, 464 - 466, Juni 1936).

De stroomingssnelheid der electronen is berekend uit de snelheidsverdeeling volgens **No. 1207.** De berekende krommen voor zuiver en iets onzuiver neon stemmen behoorlijk overeen met de experimenteel gevonden waarden.

No. 1209: H. Bruining and J. H. de Boer: Secondary electron emission of metals with a low work function. (Physica **4**, 473 - 477, Juni 1937).

Uit metingen van de secundaire emissie aan zuivere metalen en de invloed van onzuiverheden hierop, wordt geconcludeerd, dat de meer of minder vrije electronen in geringe mate kunnen bijdragen tot het vermogen van een metaal om secundaire electronen te emitteeren, indien dit beschoten wordt met primaire electronen met een energie van enkele honderden volts. Het secundair emitteerend vermogen kan worden verhoogd door onzuiverheden, die de vrije electronen ten deele vastleggen. Tenslotte werd ook nog nagegaan, hoe de secundaire emissie van electronen afhangt van de dikte van de emitteerende laag. Voor een zuiver metaal begint men dan met de secundaire emissie van dat metaal; door bedekken met een ander metaal kan de emissie toenemen tot meerdere malen zijn beginwaarde, om bij nog grootere laagdikten weer af te nemen tot de waarde, die behoort bij het metaal van de bedekkende laag.

Digitized by www.freeservicemanuals.info
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!